

**Implementação do processo de medição por ultra-sons**  
**Projecto elaborado na Gestamp Portugal**

*Elói Oliveira Malheiro (030504047)*

**Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM**

Orientador da Gestamp Portugal: António Alexandre M. Gonçalves

Orientador na FEUP: Prof. Catedrático A. A. Fernandes

Prof. Miguel Figueiredo



**FEUP**

**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**

**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Julho 2008

## **Resumo:**

O trabalho que se segue tem por objectivo relatar, de uma forma pormenorizada, o projecto final do 5º ano de mestrado integrado em engenharia mecânica, que tem como tema a implementação do processo de controlo por ultra-sons.

No início do trabalho encontra-se um breve enquadramento do projecto, bem como uma apresentação da empresa e do departamento de qualidade. Por outro lado, é feito um ponto de situação dos ensaios efectuados na área fabril.

Como o objectivo é o de minimizar as peças destruídas na produção, será feita uma abordagem aos ensaios não-destrutivos tendo uma maior incidência sobre os ultra-sons.

Em seguida, serão apresentados todos os documentos elaborados para auxílio da implementação do aparelho. Nesta área estão englobadas as gamas de controlo, a instrução de trabalho, os documentos para formação dos controladores, o plano da banca, entre outros.

Numa fase posterior, será efectuada uma análise da fiabilidade do aparelho tendo em vista a evolução do número de medições. Com base nessa fiabilidade é efectuada uma análise de qual é o nível ideal de substituição dos ensaios destrutivos para o aparelho em causa.

Após a análise anterior será efectuada um estudo sobre o tempo de amortização e de qual o número ideal de contratações para a sua implementação.

No fim do relatório encontram-se todos os anexos relevantes para o projecto de final de mestrado integrado.

## **Abstract:**

The main objective of this report is based on relate, in detail, the final draft of the integrated Masters of the 5<sup>th</sup> year of the integrated master's in mechanical engineering with the theme 'implementation of the ultrasound measurement process'.

In the beginning of this report is found a brief outline of the project, as well as the presentation of the company and the department of quality. On the other hand, is made a state point of the tests carry out in manufacturing.

Since the aim is minimize the destroyed parts in production it will be made in this report an approach to non-destructive testing with a greater impact on ultrasound.

Then, will be presented all documents produced to help the apparatus implementation. In this section are included the range of control, the work instruction, the documents for training of controllers, the drawing of the bench for the apparatus, among others.

At a later stage, it will be made an analysis of the reliability of the equipment with a view to the development of a number of measurements. Based on this reliability, a study is made to find out the ideal level of replacement of destructive testing to the apparatus concerned.

After the earlier analysis, will be carrying out a study on the time of depreciation and on the ideal number of contracts for this implementation.

At the end of the report are presented all the relevant annexes relating to this final project of integrated Masters.

## **Agradecimentos:**

Antes de mais, agradeço ao Eng. Perfecto Gonzales e ao Sr. Rui Caldas pela oportunidade de poder efectuar este projecto na Gestamp Portugal e a todos os elementos que directamente ou indirectamente estiveram ligados à implementação deste sistema.

Quero aqui agradecer a todos os elementos do Dep. de Qualidade, pelo modo como me receberam e ajudaram desde o primeiro dia de projecto.

Um agradecimento especial ao António Gonçalves e ao Eng. Ricardo Duarte, pelo acompanhamento que efectuaram do projecto, bem como da ajuda e disponibilidade demonstrada ao longo de toda a implementação.

Não poderia esquecer, todos os meus colegas de mestrado nas pequenas mas grandes ajudas dadas ao longo destes últimos cinco anos, bem como ao Prof. Monteiro Batista, ao Prof. Catedrático António Augusto Fernandes e ao Prof. Miguel Figueiredo que fizeram possível este projecto.

Seria um erro fatal não enunciar, os meus colegas de juventude, que aos longos destes anos me tem aturado e dado apoio para poder concluir esta fase da minha vida.

Para terminar, e como não poderia de ser, a minha família, principalmente os meus pais e a minha irmã, que ao longo deste tempo todo se demonstraram incansáveis a todos os níveis para que a oportunidade de efectuar um curso superior fosse possível.



## Índice:

1.	Introdução.....	1
1.1.	A necessidade.....	1
1.2.	O objectivo.....	1
1.3.	A base.....	2
1.4.	O método.....	2
2	A empresa.....	3
2.1	A sua história.....	3
2.2	O departamento de Qualidade.....	4
2.3	A Política de Qualidade.....	5
2.4	Certificações.....	5
2.5	Tipos de peças destruídas.....	6
3	Os ensaios destrutivos.....	9
4	Os ensaios não destrutivos.....	11
5	Os Ultra-sons.....	16
5.1	Princípios básicos do método.....	16
5.2	História do ultra-som.....	17
5.3	Campo de aplicação.....	20
5.3.1	Vantagens em relação aos outros métodos.....	21
5.3.2	Limitações em relação aos outros métodos.....	22
5.4	Vibrações mecânicas.....	22
5.4.1	Tipos de Ondas.....	22
5.4.1.1	Ondas longitudinais (ondas de compressão).....	22
5.4.1.2	Ondas transversais (Ondas de cisalhamento).....	23
5.4.1.3	Ondas superficiais (Ondas de Rayleigh).....	24
5.5	Frequência, Velocidade, Comprimento de onda, Período, e Amplitude.....	25
5.5.1	Período.....	25
5.5.2	Frequência.....	26
5.5.3	Velocidade de propagação.....	27
5.5.4	Comprimento de onda.....	29
5.5.5	Amplitude.....	29
5.5.6	Relação entre velocidade, comprimento de onda e frequência.....	30
5.6	Definição de Bell, Decibell, e Ganho.....	30
5.6.1	Intensidade sonora.....	30
5.6.2	Nível de intensidade sonora.....	31
5.7	Propagação de ondas acústicas no material.....	33
5.7.1	Campo próximo ou zona de Fresnel.....	34
5.7.2	Campo longínquo ou distante ou zona de Fraunhofer.....	35
5.7.3	Atenuação sónica.....	36
5.7.4	Divergência do feixe sónico.....	37
5.8	Geração das ondas de ultra-som.....	38
5.8.1	Efeito Piezoeléctrico.....	38
5.8.2	Tipos de cristais.....	39
5.8.3	Tipos de transdutores.....	40
5.8.3.1	Transdutores normais ou rectos.....	40
5.8.3.2	Transdutores angulares.....	41

5.8.3.3	Transdutores duplo-cristal ou SE.....	42
5.8.4	Acoplantes.....	43
5.9	Técnicas de inspecção.....	44
5.9.1	Técnica de impulso-eco ou pulso-eco.....	44
5.9.2	Técnica de transparência.....	45
5.10	Descrição dos aparelhos medidores de espessura por ultra-sons.....	46
5.11	Descrição básica de um aparelho de ultra-sons.....	47
5.11.1	Eco de fundo.....	48
5.12	Formas de apresentação das indicações na tela do aparelho..	49
5.12.1	Formas de apresentação A-scan.....	49
5.12.2	Formas de apresentação B-scan.....	49
5.12.3	Formas de apresentação C-scan.....	50
<b>6</b>	Trabalhos desenvolvidos ao longo de todo o projecto.....	50
6.1	Elaboração das gamas de controlo do processo de soldadura por ultra-sons.....	51
6.2	Elaboração da banca de ultra-sons.....	53
6.3	Elaboração da instrução de trabalho.....	54
6.4	Formação dos colaboradores.....	55
6.5	Ajustes dos parâmetros de um programa.....	57
6.6	Actualização da tabela de frequência de controlo de estampagem e elaboração da tabela de frequência de controlo de soldadura.....	65
<b>7</b>	Discussão dos resultados.....	67
7.1	Gráficos mensais.....	67
7.2	Análise do nível de substituição.....	72
7.3	Análise dos custos relacionados com a contratação de vários colaboradores.....	77
<b>8</b>	Conclusões.....	82
<b>9</b>	Referências e bibliografia.....	84
<b>Anexo A</b>	Tipos de ensaios não destrutivos.....	86
<b>Anexo B</b>	Aplicações dos ultra-sons.....	126
<b>Anexo C</b>	Fenómenos sónicos.....	134
<b>Anexo D</b>	Gamas de controlo por ultra-sons de peças com pontos de soldadura.....	138
<b>Anexo E</b>	Gamas de controlo por ultra-sons de caixas de pedaleiras.....	139
<b>Anexo F</b>	Projecto da banca de ultra-sons.....	142
<b>Anexo G</b>	Instrução de trabalho.....	144
<b>Anexo H</b>	Apresentação da formação dos controladores.....	175
<b>Anexo I</b>	Tabela de cruzamento de dados.....	189
<b>Anexo J</b>	Tabela de cálculo da frequência de controlo de estampação.....	190
<b>Anexo K</b>	Tabela de cálculo da frequência de controlo de soldadura.....	191
<b>Anexo L</b>	Custos e proveitos de uma substituição de 60%.....	192
<b>Anexo M</b>	Custos e proveitos de uma substituição de 80%.....	193
<b>Anexo N</b>	Custos e proveitos de uma substituição de 85%.....	194
<b>Anexo O</b>	Tabela da evolução das amortizações para os níveis de substituição de 80 e 85%.....	195
<b>Anexo P</b>	Tabela da evolução da amortização do aparelho de ultra-sons para um nível de substituição de 85% dos ensaios destrutivos e com a contratação de um colaborador por turno.....	196

## Nomenclatura:

END	Ensaio Não Destrutivo
Hz	Hertz
$c$	Velocidade de propagação
$T$	Período
$f$	Frequência
$\lambda$	Comprimento de onda
$K_m$	Módulo de elasticidade volumétrica
$D$	Densidade
$\omega$	Velocidade angular
$E$	Módulo de Young
$\mu$	Coefficiente de Poisson
N.I.S	Nível de intensidade sonora
$I$	Intensidade sonora
$I_0$	Intensidade sonora inicial
$A$	Amplitude
$A_0$	Amplitude inicial
N.A.S.	Nível de amplitude sonora
$D_{ef}$	Diâmetro efectivo do cristal

## **1. Introdução:**

### **1.1 A Necessidade:**

A empresa "Gestamp Portugal Lda." sentiu necessidade de implementar um sistema não destrutivo para o controlo de peças soldadas. Isto porque, as exigências dos clientes e os critérios de qualidade aplicados na empresa são bastante elevados. Daí, a existência de elevadas frequências de controlo. Estes controlos provocam um elevado número de destruição de peças, fazendo aumentar os custos da empresa com a fabricação de peças.

Por este motivo, a empresa decidiu adquirir um aparelho de ultra-sons para controlo de pontos de soldadura. Contudo não basta comprar o aparelho para resolver o problema.

Para que a implementação do processo de controlo fosse o mais rápido possível, a empresa em questão recorreu à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Deste modo, a FEUP solicitou um dos alunos finalistas, do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica, para ir efectuar a implementação do aparelho em questão.

### **1.2 O Objectivo:**

Este projecto tem como principal objectivo a implementação de um sistema de medição de pontos de soldadura através do recurso aos ultra-sons. Sendo a sua finalidade diminuir a quantidade de peças destruídas na empresa, diminuindo assim as frequências de controlo por ensaio destrutivo, e consequentemente aumentar a produção de algumas referências.

Assim os objectivos de implementação deste método não destrutivo são:

- Programação de todas as referências existentes com pontos de soldadura;
- Ajuste dos parâmetros de medição do aparelho da ScanMaster;
- Projecto de um posto de trabalho para a implementação na produção deste ensaio;

- Elaboração de instruções de trabalho;
- Elaboração de gamas de controlo;
- Preparação dos controladores para o uso do aparelho em questão;
- Validação do ensaio não destrutivo.

### **1.3 A base:**

Para que todo este processo fosse possível foi fundamental adquirir todos os conhecimentos teóricos sobre o tipo de ensaio em questão; recorrer aos manuais “ScanMasters”, da empresa fornecedora do equipamento de medição para conhecer o programa e o aparelho a utilizar. Por outro lado, foi essencial conhecer todo o processo de produção, assim como a forma de trabalhar da empresa e as exigências dos seus clientes.

### **1.4 O Método:**

O método encontrado para abordar o problema de implementação do ensaio não destrutivo, tem como base a formulação de um histórico das medições efectuadas e ajustes progressivos de forma a poder aumentar a fiabilidade das medições.

Assim este método consiste em:

1. Programação das referências com pontos de soldadura;
2. Recolha de amostras das produções que decorrem;
3. Recolha de peças propositadamente defeituosas;
4. Medição das peças recolhidas;
5. Após medição, efectuar a destruição das respectivas peças;
6. Registo dos resultados das medições;
7. Ajuste de parâmetros dos programas.

Como não se consegue obter uma credibilidade muito elevada ao fim do primeiro ajuste, este método implementa-se de forma repetitiva, até se obter a fiabilidade pretendida. Atingindo essa meta, pretende-se diminuir o número de peças destruídas até ao valor mais próximo das metas propostas pela empresa.

## 2. A empresa:

A *Gestamp Portugal Lda.*, faz parte da divisão de automação da *Corporación Gestamp*, uma multinacional europeia, líder nos sectores do aço, componentes de automóvel, armazenamento e logística.

A *Corporación* é formada por três grandes divisões industriais: *Gonvarri*, *Gestamp Automoción* e *Esmena*. A holding está presente em vários países e conta com uma forte implantação na União Europeia e América do Sul.

### 2.1 A sua História.

A *Gestamp Portugal Lda.* Está intimamente ligada à *Gestamp Vigo*, compartilhando vários departamentos e a administração.

O aparecimento da *Gestamp Portugal*, em 1995, deveu-se à necessidade de ampliar as instalações da “empresa mãe”, a *Gestamp Vigo*, de modo a responder à crescente confiança depositada pela sua carteira de clientes. A sua localização deve-se à proximidade da fábrica em relação à *Gestamp Vigo* e à *PSA Vigo*, dois dos seus maiores clientes, mas também à possibilidade de obter mão-de-obra mais barata.

Inicialmente com a designação de *LAP Portugal*, passou, em 1999, para a sua designação actual, *Gestamp Portugal*.

Nestes 6 anos de laboração, a *Gestamp Portugal* tem tido um crescente aumento de produtividade, que se traduz de forma directa no aumento dos seus recursos humanos, passando de 100 operários em 1998 para mais de 350 no fim de 2003.

Como todas as empresas pertencentes a este grupo, e seguindo a filosofia traçada pelo mesmo, a *Gestamp Portugal* acompanha as peças e conjuntos de fábrica, desde a sua concepção até a chegada ao seu cliente.

A 10 de Maio de 2000, a empresa obteve a certificação pela ISO 9002 e pela QS-9000 e, nesse mesmo ano, a 6 de Junho, a certificação pela EAQF-94.

No ano de 2002, a fábrica sofreu uma grande ampliação, remodelação e reorganização. Melhoram-se as condições de trabalho, incrementam-se os níveis de

segurança e transformam-se os processos produtivos, de forma a garantir a qualidade total dos produtos fabricados.

O ano de 2003 foi também um ano de grandes desafios, já que, no 2º trimestre, foi obtida a certificação pela ISO TS-16949 (2002).

Durante o ano de 2004, sujeitou-se também o Sistema de Gestão Ambiente a apreciação, tendo sido obtida a certificação pela ISO 14001.

Em 2006, obteve também a certificação através do referencial EMAS.

## **2.2 O Departamento de Qualidade:**

A Gestamp Portugal considera que a detecção de erros deve ficar no âmbito interno da empresa. Se alguma peça tiver algum defeito, nunca deve chegar ao cliente.

Daí que, o departamento de Qualidade pretende dar resposta às necessidades e expectativas dos clientes para além de tentar antecipar-se a estas, sempre em cumprimento dos códigos, normas e especificações aplicáveis contratualmente.

Assim o Departamento de Qualidade possui na sua estrutura os seguintes elementos:

- Director de Qualidade;
- Responsáveis de Projectos;
- Responsáveis de Auditorias Internas;
- Responsáveis de Auditorias Externas;
- Responsáveis de Recepção;
- Responsáveis de Metrologia e Calibrações;
- Metrólogos;
- Controladores de Qualidade.

Estes elementos são o núcleo responsável pela implementação e consequente verificação da Política de Qualidade na empresa.

## 2.3 Política de Qualidade.

Nesta política a Direcção da empresa estabelece que um dos objectivos principais reside na implementação de uma **política de melhoria contínua**. Para que isto seja possível, a empresa dirige os seus esforços para contar com:

- Pessoal tecnicamente competente, íntegro, responsável e convenientemente formado;
- Meios materiais adequados ao processo produtivo e compatível com o grau de qualidade solicitado.

Como tal, um dos objectivos principais da empresa reside em estabelecer bases de um programa de Melhoria Contínua da Qualidade, abrangendo o serviço, os custos e a tecnologia. Para tal são levadas a cabo acções sistemáticas e planificadas, nas seguintes áreas:

- Motivação, formação e instrução;
- Promoção de meios mais eficazes;
- Planos de melhoria anuais com objectivos qualitativos e quantitativos;
- Adequação do sistema à evolução tecnológica, industrial e comercial;
- Novas contratações com maior grau de qualificação;
- Desenvolvimento de actividades multifuncionais de melhoria.

## 2.4 Certificações

Para que fosse possível implementar a Política de Qualidade, desenvolveu-se e implementou-se o sistema de asseguramento de Qualidade, baseado nas normas:

- **ISO/TS 16949:2002;**

Norma directamente vocacionada para a indústria automóvel, onde ocorre a montagem de automóveis ou a fabricação de peças ou componentes. A qual pretende implementar o sistema de gestão da qualidade. Em seguida, na figura 1, estão representados dois dos possíveis símbolos para a acreditação da norma ISO/TS 16949:2002.





Figura 1- Símbolos da certificação da norma ISO/TS 16949.

- **ISO 14001;**

Norma que trata de todos os aspectos relacionados com a Gestão do Meio Ambiental, com o objectivo de que os processos minimizem os danos ambientais, como se verifica na figura seguinte.



Figura 2-Símbolos da certificação da norma ambiental ISO 14001.

## 2.5 Tipos de peças produzidas.

A Gestamp Portugal fornece mais de 600 peças diferentes para distintos clientes, dentro dos quais se encontra o grupo PSA, a Renault, a Volkswagen e a Nissan.

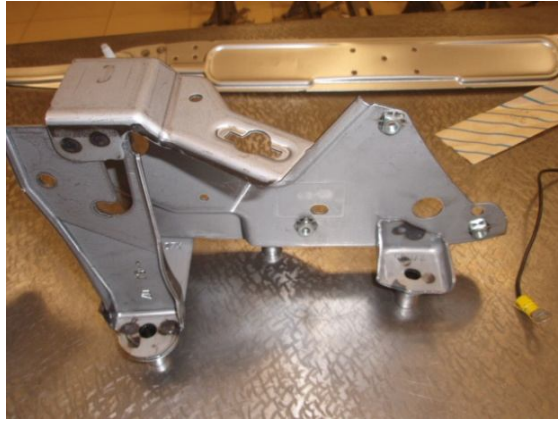
As peças produzidas podem-se dividir em dois grandes grupos, as peças estampadas e peças com soldadura. Contudo todas as peças estão ligadas directamente à estampagem. Isto porque, a Gestamp Portugal maioritariamente recebe bobines de chapa, o que provoca que antes da operação de soldadura se tenha que definir os formatos das peças a unir, o que implica operações de estampagem.

- Peças Estampadas:



Figura 3 - Exemplo de uma peça estampada, a qual possui dois componentes ligados com a peça através de soldadura.

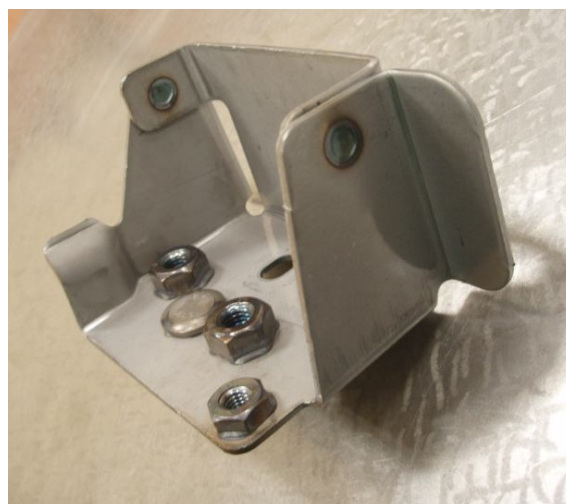
- Peças soldadas (não é mais que a união de várias peças estampadas, tal como a figura 4):



**Figura 4 - Pedaleira que serve como exemplo de um tipo de peça com soldadura por resistência por arco eléctrico.**

A soldadura por resistência encontra-se subdividida em soldadura de componentes e soldadura de pontos, contudo pode-se combinar ambos os tipos de soldadura na mesma referência mas em operações diferentes.

Quando falamos de soldadura de componentes, estamos a tratar da soldadura de tudo que são porcas, parafusos e componentes standard encontrados no mercado. No caso da soldadura de pontos, que é aquela que possui maior relevo neste projecto, consiste na união de duas ou várias chapas através da fusão do material da área de contacto do eléctrodo.



**Figura 5 – Exemplo de peça com pontos de soldadura e soldadura de vários componentes.**

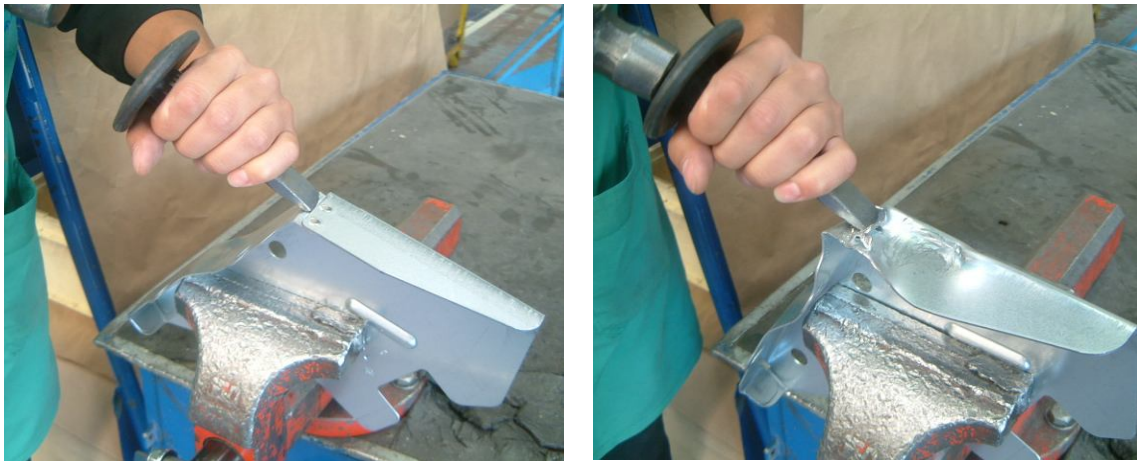
### 3. Os ensaios Destrutivos:

Para além do controlo visual, o controlo de qualidade da soldadura é feito, apenas, através de ensaios destrutivos. Este método traz alguns inconvenientes, tais como, um aumento de sucata, e consequentemente um aumento dos custos de produção, e a possibilidade de se efectuar apenas o controlo periodicamente. Logo, a probabilidade de uma peça defeituosa não ser detectada é muito elevada.

Para o controlo dos pontos de soldadura, o método utilizado é muito rudimentar. Quando estamos na área de produção simplesmente recorremos ao material que está disponível, que no caso é uma “marreta” e um ponteiro.

Por assim dizer o ensaio vai consistir em fixar a peça num torno manual e rebentar os pontos de soldadura através de pancadas de um martelo.

No laboratório de metrologia existem mais meios para efectuar este tipo de ensaio. Pode-se recorrer a uma máquina de tracção (figura 7) a uma rebarbadora, a uma máquina de corte por plasma e ao tradicional martelo e ponteiro (figura 8). Neste caso pode-se seccionar a peça a destruir para facilitar a sua ruptura através do recurso da máquina de tracção ou mesmo do uso da marreta. Contudo muitas das vezes tem de se recorrer à “marreta”.



**Figura 6 - Modo como é efectuado o ensaio destrutivo a uma peça com pontos de soldadura.**



**Figura 7 - Ensaio destrutivo de uma peça de com pontos de soldadura, com recurso a uma máquina de tracção.**

Se o ponto se descolar, então estamos na presença de uma má soldadura, se não acontecer a ruptura do ponto mas pela chapa, então é considerada uma boa soldadura. Este método é muito limitado, porque determinados defeitos característicos deste tipo de soldadura, como a presença de porosidades internas e zona fundida de reduzida dimensão, por exemplo, não são possíveis de localizar.

Para a soldadura de componentes, o método utilizado é um pouco mais completo, pois permite, através de uma prensa hidráulica (figura 8), determinar a carga máxima suportada pela ligação provocada pela soldadura. O ensaio consiste no seguinte, a peça é colocada sobre a prensa com um calibre, de diâmetro superior ao componente, por baixo dela. Depois, e caso estejamos na presença de um parafuso, a carga é exercida sobre este mesmo, caso estejamos na presença de uma porca, é um pequeno cilindro para exercer a força sobre ela.



**Figura 8 - Ensaio destrutivo de uma peça com componentes soldados.**

## 4. Os Ensaios não Destrutivos

Os Ensaios Não Destrutivos (vulgarmente designados por END ou na linguagem anglo-saxónica designados por NDT - "Non Destructive Testing") constituem experiências ou medições a que se submetem componentes ou, mais propriamente, as superfícies dos componentes, para detecção de anomalias que segundo determinados critérios se consideram inaceitáveis. Por não afectar o normal funcionamento das peças, nem as danificar, este tipo de ensaios considera-se não destrutivo. Esse é o motivo principal pelo qual são utilizados na manutenção para despistar defeitos.

Como tal, constituem uma das principais ferramentas de controlo da qualidade de materiais e produtos, contribuindo para garantir a qualidade, reduzir os custos e aumentar a fiabilidade da inspecção.



**Figura 9 - Exemplo de aplicação de um tipo de ensaio não destrutivo por ultra-sons.**

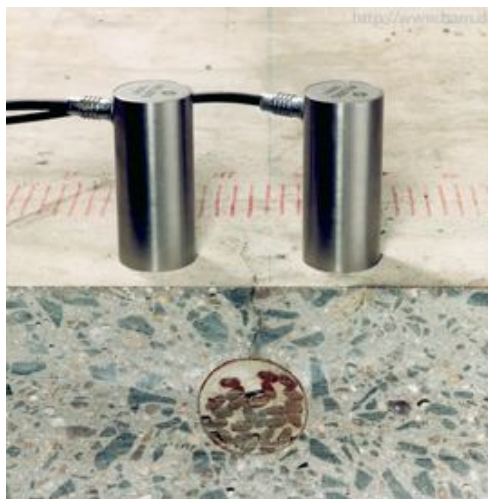
Existem END especialmente indicados para detectar defeitos na superfície das peças (figura 10) e END especialmente indicados para identificação de defeitos nas zonas sub superficiais ou mesmo no interior das peças.





**Figura 10 - Exemplo de aplicação de um tipo de ensaio não destrutivo para detecção de defeitos superficiais através do ensaio de líquidos penetrantes.**

Todas as superfícies componentes contêm anomalias resultantes de má formação das estruturas cristalinas aquando da solidificação das ligas de que são constituídas, como demonstra a figura 11. É determinante para o julgamento das anomalias identificadas é o conhecimento mais profundo que alguns profissionais detêm e que lhes permite distinguir entre anomalias inócuas e anomalias que representam defeitos e que, por isso, carecem de acções de reparação (caso seja possível).



**Figura 11 - Exemplo de aplicação de um tipo de ensaio não destrutivo para a procura de anomalias sub-superficiais.**

O conhecimento e experiência que esses profissionais reúnem, permite-lhes ser instruídos em níveis crescentes de competência para proferirem uma decisão ou emitirem um parecer perante sinais anómalos que a avaliação de uma superfície revela. Este acto competente é designado por interpretação dos resultados dos END.

Assim os executantes de END devem ser possuidores de formação específica em cada método que são capazes de realizar e de um considerável número de horas de experiência, bem como detentores de um determinado nível a que corresponde maior competência, quer do ponto de vista de execução quer de interpretação das revelações produzidas. Cada departamento de END deve incluir, para além dos executantes (que apenas executam os END, numa grande parte dos casos) também um especialista de competência máxima, que realize a interpretação e formule uma decisão definitiva sobre o carácter de uma anomalia detectada ou emita um parecer fundamentado que permita a um Gabinete de Engenharia tomar uma decisão técnica apoiada nesse parecer.



**Figura 12 - Exemplo de formação dos vários tipos de ensaios não destrutivos.**

A procura e detecção de defeitos pressupõem a prévia limpeza das superfícies a avaliar, de modo a remover tudo quanto possa influenciar a análise e avaliação dos mesmos. O método de limpeza deve ser capaz de remover as camadas de óxidos, as gorduras, os óleos e massas lubrificantes, as sujidades, etc.

No decurso das acções de manutenção estão homologados (também usado o termo "certificados") END comprovadamente eficazes, de fácil aplicação e de baixo custo, quer de investimento quer de exploração. A selecção e utilização de END nas acções de manutenção implicam uma enorme flexibilidade e uma projecção dos meios usados, tão grande quanto possível, aliada à simplicidade dos equipamentos intervenientes. Existem equipamentos de END concebidos para utilização em unidades fixas de grande produção, assim como existem outros de concepção portátil para poderem ser transportados e usados na linha de produção.

Os defeitos mais frequentes que se encontram nos componentes são: os desgastes que provocam a diminuição de espessuras e dimensões críticas das peças e que são originados quer pela fricção entre componentes querem pela erosão e pela corrosão generalizada ou localizada; as fissuras, que se desenvolvem perante os contínuos esforços a que os componentes estão sujeitos, muitas delas resultantes de micro-defeitos de fundição das ligas constituintes dos componentes, outras originadas pelo fenómeno de fadiga; as identações provocadas pela corrosão localizada e que se revelam como micro-cavidades nas superfícies (quando o número destas micro-cavidades é elevado e a sua orientação é preferencial ao longo duma linha, o conjunto destas micro-cavidades poderá originar uma fissura); a desagregação de material; as ovalizações, os descentramentos e os desalinhamentos (principalmente em peças de revolução, tipo "cárteres", mangas, veios, etc.); os empenos (caracterizados pela falta de paralelismo entre pontos homólogos da peça e falta de planeza de superfícies de referência); as obstruções em micro-canais de lubrificação (existentes em "cárteres" e suportes de rolamentos), os alongamentos ou deformações devido ao fenómeno de flexão (comuns, sobretudo, nas pás das rodas de compressores e turbinas, devido à enorme força centrífuga que se exerce sobre estes componentes, quando em funcionamento e agravado no caso das turbinas pelo elevado aquecimento a que se submetem) e outros de menor relevância.



**Figura 13 - Tipos de ensaios não destrutivos usados na manutenção de órgãos de máquinas.**

A maior parte dos defeitos encontram-se nas superfícies dos componentes, no entanto, é necessário verificar se nas zonas adjacentes, as sub superficiais, existem



defeitos que poderão evoluir até à superfície e, nessas condições, poderem conduzir à ruptura e falência dum componente. Normalmente, o tipo de defeitos sub superficiais é do tipo fissuração interna (micro-fissuras geralmente provenientes, por exemplo, de defeitos de solidificação das ligas no acto do seu fabrico ou causadas por um processo de corrosão interno favorecido pelo aumento de temperatura ou exposição a um agente químico que em função da temperatura penetra por difusão nas ligas até uma certa profundidade susceptível de causar a corrosão) ou de fissuras existentes em superfícies inacessíveis (como por exemplo em micro-canais de lubrificação existentes nos "cárteres").

Assim podemos distinguir os seguintes métodos não destrutivos:

- Ultra-sons
- Termografia
- Líquidos Penetrantes;
- Raios X
- Análise de vibrações
- Correntes Induzidas
- Emissões Acústicas
- Partículas magnéticas
- Inspeção Visual
- Estanquidade
- Shearografia

Cada um destes ensaios não destrutivos possui informação no Anexo A.

## 5. ULTRA-SONS

### 5.1 Princípios básicos do método

Sons extremamente graves ou agudos podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por se caracterizarem por vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz (infra-som) ou com frequências muito altas, acima de 20 KHz (ultra-som), ambas inaudíveis.

Assim, e segundo a acústica, podemos definir o som como uma variação rápida da onda de pressão num determinado meio. Usualmente referimo-nos a som audível, à sensação (detectada pelo ouvido) de uma pequena mas muito rápida variação de pressão do ar acima e abaixo da pressão atmosférica, podendo ter-se como exemplo a figura 14.

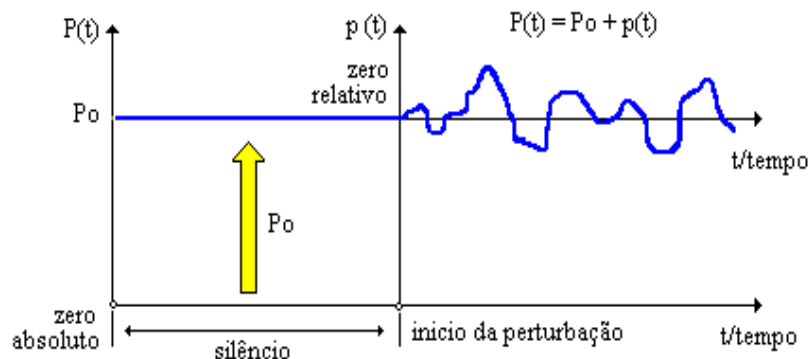


Figura 14 - Ilustração sobre a forma como se criam ondas sonoras.

O som não é mais que a propagação de uma frente de compressão mecânica ou onda longitudinal, como se pode observar na figura 15. Este solenóide propaga-se sobre a forma de circunferências concêntricas, as quais podem ser transmitidas em meios com massa e elasticidade, tais como o sólido, líquido ou gasoso, no entanto este não se propaga no vácuo.

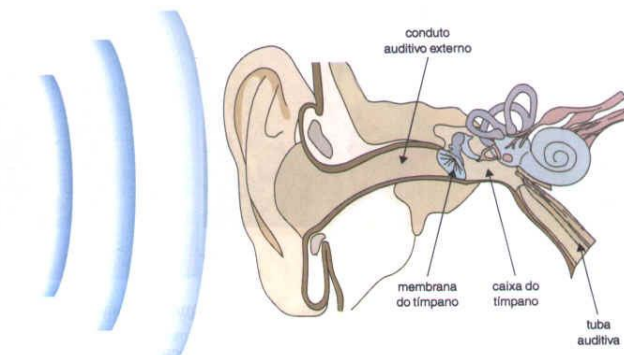


Figura 15 - Representação sobre o sistema de captação de ondas sonoras por parte do ouvido humano.

Como sabemos, os sons produzidos num qualquer ambiente, reflectem-se ou reverberam nas paredes que consistem o mesmo, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes. Fenómenos como este, apesar de simples e serem frequentes no nosso quotidiano, constituem os fundamentos do ensaio ultra-sónico de materiais.

Assim como uma onda sonora se reflecte ao incidir num material qualquer, a vibração ou onda ultra-sónica ao percorrer um meio elástico, reflectirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna a este meio considerado. Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.

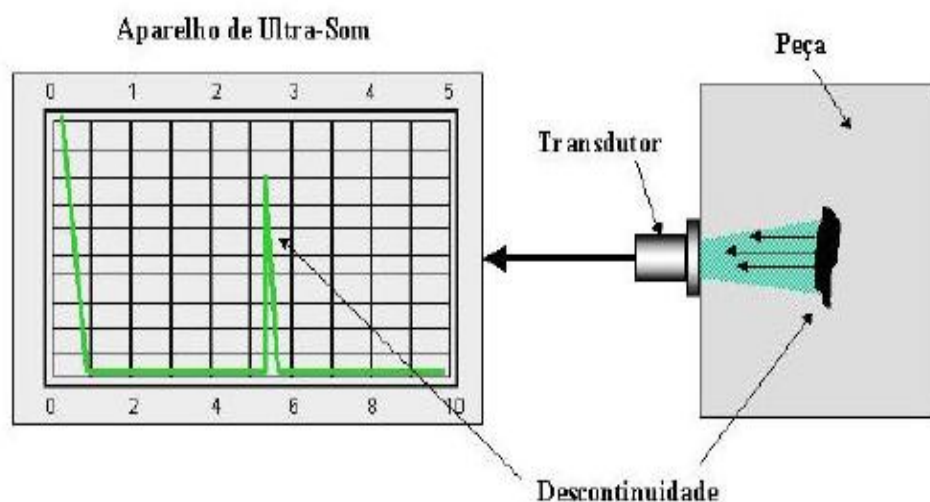


Figura 16 - Representação sobre o princípio básico de funcionamento de um aparelho de ultra-sons.

## 5.2 História do método.

Como a grande parte das tecnologias existentes à face do planeta Terra, o ultra-som foi desenvolvido pela área médica e militar, tendo sido a primeira aplicação no ano de 1881, quando Jacques e Pierre Curie publicaram os resultados obtidos ao experimentar a aplicação de um campo eléctrico alternante sobre cristais de quartzo e turmalina, os quais produziram ondas sonoras de altas frequências.

Decorridos alguns anos surgiu o assobio de Galton (figura 14), usado para controlar os cães.

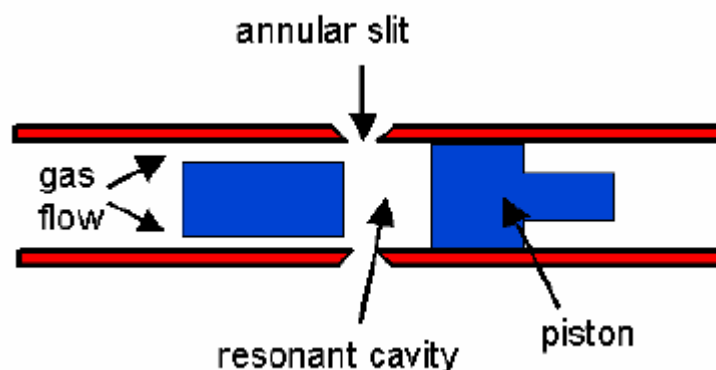


Figura 17- Representação da forma e constituição de um assobio de Galton.

Com o afundamento do Titanic, L. F. Richerdson usou esta gama de som para detectar objectos submersos (submarinos inimigos).

Em 1917, Paul Langevin e Chilowsky produziram o primeiro gerador piezoeléctrico de ultra-sons, cujo cristal servia também de receptor, e gerava alterações eléctricas ao receber vibrações mecânicas. Este aparelho foi muito útil para a investigação do fundo dos oceanos.

Uma dúzia de anos depois, decorria já o ano de 1929, o russo Sergei Sokolov propôs o uso de ultra-sons para detectar fendas em metal, e também para microscopia, surgindo assim a primeira aplicação deste tipo de onda como ensaio não destrutivo.

Em plena 2ª guerra mundial, 1939 até 1945, surgiu uma das aplicações mais importantes deste tipo de ondas, o SONAR (Sound Navegation Ranging), o qual facilita na navegação de barcos e submarinos através da detecção de obstáculos submersos.

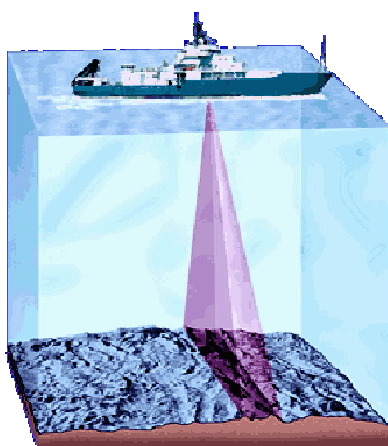


Figura 18 - Imagem representativa de um sistema de navegação SONAR.

Em 1942, Karl Dussik, psiquiatra Austríaco, tentou detectar tumores cerebrais, medindo a atenuação do ultra-som quando do atravessamento do cérebro. Este exame foi chamado de Hiperfonografia do cérebro.

Passados alguns meses e decorrendo já o ano de 1943, foi efectuada a primeira patente sobre um aparelho de limpeza que tinha por base os ultra-sons (patente alemã 733.470).

Já decorria o ano de 1949, quando se publicou uma técnica de eco pulsado para detectar corpos estranhos intra-corporais.

Em 1951 apareceu o ultra-som composto, no qual recorria-se a um transdutor móvel.

Um ano depois, Howry e Bliss publicaram imagens bidimensionais duma gravidez, de um tumor muscular e de um rim, obtidas através do princípio do SONAR.

Já na década de 60, mais precisamente em 1957, Tom Brown e o Dr. Donald construíram um scanner de contacto bidimensional, evitando assim a técnica de submersão.

Satomura em 1959 usou por primeira vez o Doppler ultra sónico na avaliação do fluxo nas artérias periféricas.

Em 1964 apareceu a técnica de Doppler para estudar as carótidas, com grande aplicação na Neurologia.

Decorria o ano de 1971, quando foi introdução da escala de cinzas marcou o começo da crescente aceitação mundial do ultra-som em diagnóstico clínico.

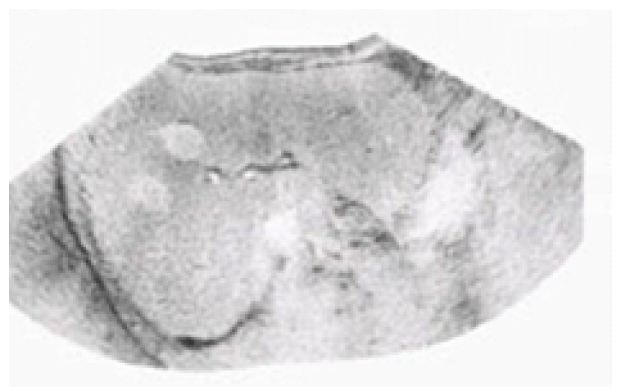


Figura 19 - Imagens obtidas através do recurso a ecografias 2D de vários órgãos de um ser humano.

Doze anos depois, quando já decorria o ano de 1983, Aloka introduziu o primeiro equipamento de Doppler a cor que permitiu visualizar em tempo real e a cores o fluxo sanguíneo.

Desde então que o progresso do ultra-som tem sido lento, devido a estar ligado a computadores, e lamentavelmente ainda não se generalizou a sua união às telecomunicações.

Em 1994, o Dr. Gonzalo E. Días introduziu o processamento de imagens a cores diagnósticas que se podem estender a qualquer imagem.

Recentemente começaram-se a obter imagens tridimensionais de ecografias.

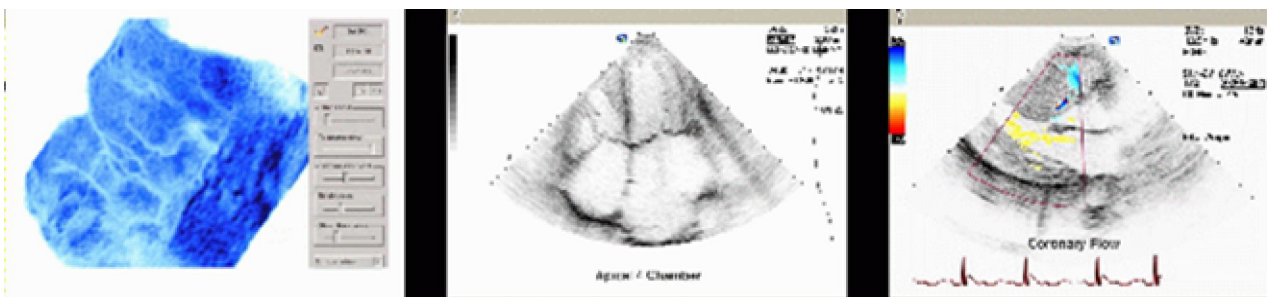


Figura 20 - Imagens referentes de uma obtenção de uma ecografia 3D de um embrião e de vários órgãos.

### 5.3 Campo de Aplicação

Desde longos tempos que o ultra-som existe na natureza, contudo só foi descoberto pelo homem em finais do século XIX. Desde então que ele tem tido um elevado desenvolvimento, sendo aplicado nas mais diversas áreas. Assim podemos encontrar este tipo de onda ligada as seguintes aplicações:

- Ecolocalização.
- SONAR.
- Soldadura por ultra-sons.
- Equipamentos de Limpeza.
- Medidores de distância.
- Repelente de animais.
- Aplicações médicas.
- Ensaaios não-destrutivos.

As aplicações enunciadas a cima possuem informação disponível no anexo B.

Assim como a implementação diz respeito aos ensaios não-destrutivos, o ensaio ultra-sónico, possui vantagens e desvantagens relativamente aos outros ensaios e aplicações.

### **5.3.1 Vantagens em relação a outros ensaios:**

O método ultra-sónico possui alta sensibilidade na detectabilidade de pequenas descontinuidades internas, por exemplo:

- Fissuras devido a tratamento térmico, fissuras e outras de difícil detecção por ensaio de radiações X (radiografia ou gamagrafia);
- Para interpretação das indicações, dispensa processos intermediários, acelerando a inspecção;
- Ao contrário dos ensaios por radiações penetrantes, o ensaio ultra-sónico não requer planos especiais de segurança ou quaisquer acessórios para sua aplicação;
- A localização, avaliação do tamanho e interpretação das descontinuidades encontradas são factores intrínsecos ao ensaio ultra-sónico, enquanto outros exames não definem tais factores. Por exemplo, um defeito mostrado num filme radiográfico define o tamanho mas não sua profundidade e em muitos casos este é um factor importante para proceder uma reparação.
- É considerada uma técnica muito flexível, com aplicações em grande escala na indústria, medicina, navegação, pesca e na área militar. Para além de permitir testar geometrias complexas.
- É um método não evasivo que permite uma boa profundidade de penetração e resolução. Dai se tratar de um método isento de qualquer radiação. Podendo concluir-se que se trata de um ensaio que não apresenta riscos para o ambiente nem para a saúde.

### **5.3.2 Limitações em relação a outros ensaios:**

- Requer grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspector;
- O registo permanente do teste não é facilmente obtido;

- Faixas de espessuras muito finas constituem uma dificuldade para aplicação do método;
- Requer o preparo da superfície para sua aplicação. Em alguns casos de inspecção de soldaduras, existe a necessidade da remoção total do reforço da soldadura, factor que aumenta tempo dispensado para o ensaio.
- Não é capaz de detectar defeitos planos, cuja direcção é paralela à direcção da propagação da onda.

## **5.4 Vibrações Mecânicas**

### **5.4.1 Tipos de Ondas**

Como já vimos, o teste ultra-sónico de materiais é feito com o uso de ondas mecânicas ou acústicas colocadas num meio em inspecção, ao contrário da técnica radiográfica, que usa ondas electromagnéticas. Qualquer onda mecânica é composta por oscilações de partículas discretas no meio em que se propaga. A passagem de energia acústica no meio faz com que as partículas que compõem o mesmo, execute o movimento de oscilação em torno na posição de equilíbrio, cuja amplitude do movimento irá diminuindo com o tempo, devido à perda de energia adquirida pela onda. Se assumirmos que o meio em estudo é elástico, ou seja, que as partículas que o compõem estão rigidamente ligadas, mas que podem oscilar em qualquer direcção, então podemos classificar as ondas acústicas em quatro tipos:

#### **5.4.1.1 Ondas longitudinais (Ondas de compressão):**

São ondas cujas partículas oscilam na direcção de propagação da onda, podendo ser transmitidas a sólidos, líquidos e gases.



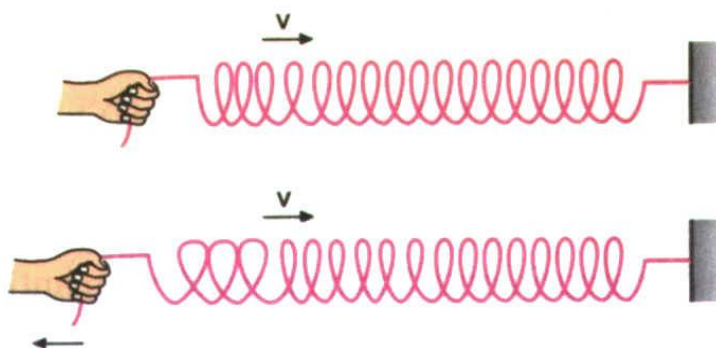


Figura 21 - Modo como se propagam as ondas longitudinais.

Na figura anterior nota-se que o primeiro plano de partículas vibra e transfere sua energia cinética para os próximos planos de partículas, passando estes a oscilar também. Desta maneira, todo o meio elástico vibra na mesma direcção de propagação da onda (longitudinal), e aparecerão “zonas de compressão” e “zonas de tracção”. As distâncias entre duas zonas de compressão determinam o comprimento de onda ( $\lambda$ ). Por assim dizer podemos concluir que a vibração ocorre na mesma direcção do movimento.

#### 5.4.1.2 Ondas transversais (ou ondas de cisalhamento):

Uma onda transversal é definida, quando as partículas do meio vibram na direcção perpendicular à de propagação. Neste caso, observamos que os planos de partículas, mantêm-se na mesma distância um do outro, movendo-se apenas verticalmente. Simplificando podemos dizer que a vibração é perpendicular à direcção de propagação.

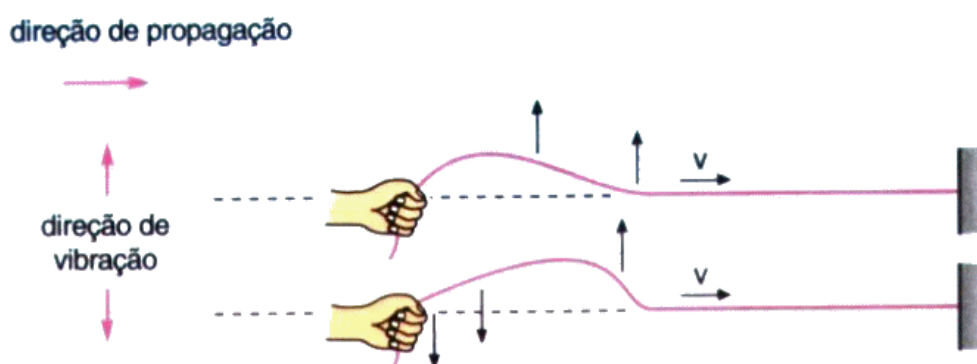


Figura 22 - Modo de oscilação das ondas transversais.

Este tipo de ondas pode apenas ser transmitido a sólidos. As ondas transversais são praticamente incapazes de se propagarem nos líquidos e gases, pelas características das ligações entre partículas desses meios. O comprimento de onda é a distância entre dois “vales” ou dois “picos”.

#### 5.4.1.3 Ondas superficiais (ou ondas de Rayleigh):

São assim chamadas, pelas suas características de se propagar na superfície dos sólidos. Devido ao complexo movimento oscilatório das partículas da superfície, a velocidade de propagação da onda superficial entre duas fases diferentes é aproximadamente 10% inferior que a de uma onda transversal.

Para o tipo de onda superficial que não possui a componente normal, que portanto se propaga em movimento paralelo à superfície e transversal em relação à direcção de propagação, recebe a denominação de ondas de “Love”.

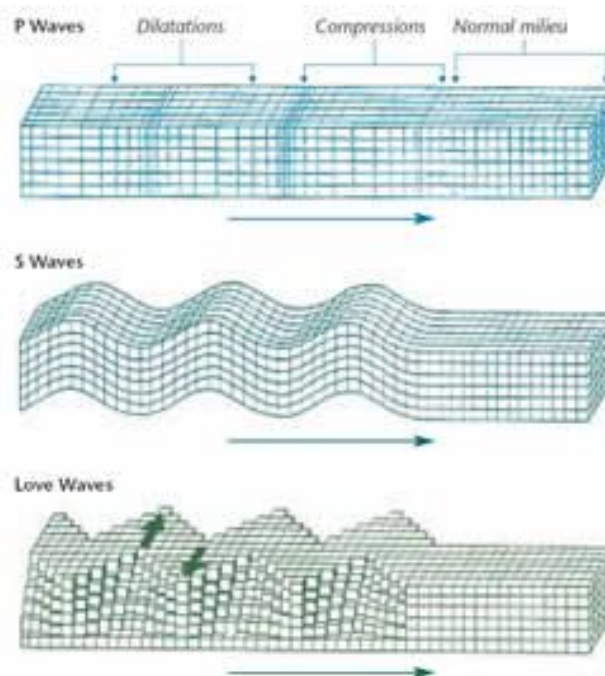


Figura 23- Imagem dos vários modos de propagação das ondas superficiais.

A sua aplicação restringe-se ao exame de finas camadas de material que cobrem outros materiais.

Para ondas superficiais que se propagam com comprimento de onda próximo da espessura da chapa ensaiada, a inspeção não se restringe somente à superfície, mas sim a todo o material, estas são as chamadas ondas de “Lamb”. Estas ondas podem ser geradas a partir das ondas longitudinais, incidindo segundo um ângulo de inclinação em relação à chapa.

O ensaio ultra-sônico de materiais com ondas superficiais, é aplicado com severas restrições, pois somente são observados defeitos de superfície, e para estes casos existem processos mais simples de detecção destes tipos de discontinuidades, dentro dos ensaios não destrutivos, como por exemplo o de Líquidos penetrantes ou o de Partículas magnéticas, que em geral são de custo e complexidade inferior ao ensaio ultra-sônico.

## 5.5 Frequência, Velocidade, Comprimento de Onda, Período e Amplitude

### 5.5.1 Período

O Período é definido como "o tempo necessário para que um movimento realizado por um corpo se volte repetir". Num relógio de pêndulo, por exemplo, o período é determinado pelo "tempo" que a massa suspensa, em movimento oscilatório, leva a realizar o movimento de ida e de volta. Usualmente represento pela letra T. No Sistema internacional de unidades (SI), o período é medido em Segundos (s).

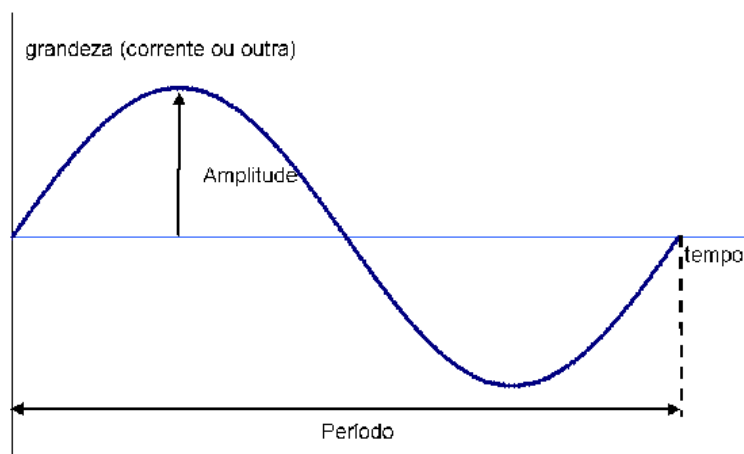


Figura 24 - Solenoide de uma onda, onde estão representadas algumas das suas propriedades.

### 5.5.2 Frequência

A frequência pode ser definida como "uma grandeza física associada a movimentos de característica ondulatória", ela indica o número de revoluções (ciclos, voltas, oscilações, etc) por unidade de tempo. A unidade “*ciclos por segundos*” é normalmente conhecida por “Hertz”, tendo como abreviatura “Hz”.

Assim sendo, se tivermos um som com 280 Hz, significa que por segundo passam 280 ciclos ou ondas pelos nossos ouvidos. Note que frequências acima de 20.000 Hz são inaudíveis e se denominam frequência ultra-sónica.

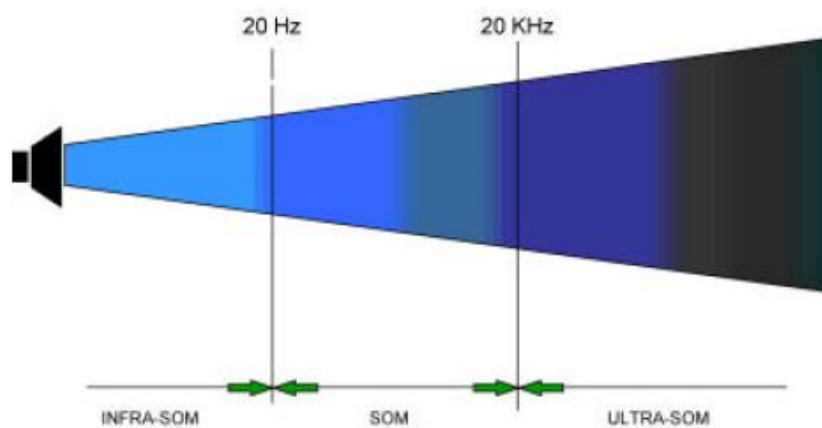


Figura 25 - Representação do campo audível das vibrações mecânicas.

A frequência possui uma relação directa com o período, definida pela seguinte expressão:

$$f = \frac{1}{T}$$

Logo podemos dizer que a frequência é inversamente proporcional com o período. Contudo, quando estivermos perante uma situação onde exista velocidade angular ( $\omega$ ) podemos fazer a seguinte relação com a frequência.

$$f = \frac{\omega}{2\pi}$$

### 5.5.3 Velocidade de propagação

Existem várias maneiras de uma onda sónica se propagar, e cada uma com características particulares ao nível de vibrações.

Definimos “*velocidade de propagação*” como sendo a distância percorrida pela onda sónica por unidade de tempo. É importante lembrar que a velocidade de propagação é uma característica do meio, e como tal é uma constante.

Esta característica pode ser obtida por dois métodos diferentes, um através do espectro acústico e outra através as propriedades do meio.

- Através do espectro acústico;

A velocidade de propagação ( $c$ ) está directamente relacionada com o comprimento de onda ( $\lambda$ ) e a frequência ( $f$ ) pela seguinte expressão:

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \times f$$

- Através das propriedades do meio;

Existindo vários tipos de meios, teremos também diferentes valores de velocidade de propagação.

Assim a velocidade com que se propagam as perturbações ou longo do meio, ou velocidade de onda  $c$ , depende do meio mas não da frequência para gases e líquidos. Esta velocidade vem dada por:

$$c^2 = \frac{Km}{D}$$

Onde  $Km$  é o módulo de elasticidade volumétrica e  $D$  a densidade. Dado que ambos os parâmetros dependem da temperatura, a velocidade também vai variar com esta.

Para um sólido, no caso de ondas longitudinais, a velocidade vem dada por:

$$c^2 = \frac{E(1-\mu)}{D(1-\mu)(1-2\mu)}$$

Donde E é o módulo de Young e  $\mu$  o coeficiente de Poisson. Para o caso de ondas transversais ela vem dada por:

$$c^2 = \frac{E}{2\mu(1+\mu)}$$

Na tabela seguinte estão algumas das velocidades de propagação em diferentes meios e diferentes temperaturas.

Meio de propagação	Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )
<b>Dióxido de carbono (0 °C)</b>	258
<b>Oxigénio</b>	317
<b>Ar (0 °C)</b>	331,5
<b>Ar (10 °C)</b>	337,5
<b>Ar (20 °C)</b>	343,4
<b>Ar (30 °C)</b>	349,2
<b>Hélio (20 °C)</b>	927
<b>Álcool etílico</b>	1180
<b>Chumbo</b>	1200
<b>Hidrogénio (0 °C)</b>	1270
<b>Mercúrio</b>	1450
<b>Água (20 °C)</b>	1480
<b>Borracha</b>	1500
<b>Água do mar</b>	1522
<b>Latão</b>	3500
<b>Cobre</b>	3900
<b>Alumínio</b>	4420
<b>Betão</b>	5000
<b>Aço</b>	6000

**Tabela 1 - Tabela dos valores da velocidade de propagação das ondas sonoras em diferentes materiais.**

(<http://web.educom.pt/fq/som/velocidadedosom.htm>)

#### 5.5.4 Comprimento de onda

Quando atiramos uma pedra num lago de águas paradas, criamos imediatamente uma perturbação no ponto atingido, formando ondas superficiais circulares que se propagam sobre a água. Neste simples exemplo, podemos imaginar o que definimos anteriormente de frequência como sendo o número de ondas que passam por um observador fixo. Podemos também imaginar a velocidade de propagação pela simples observação e podemos ainda estabelecer o comprimento entre dois picos de ondas consecutivos. A esta medida denominamos “*comprimento de onda*”, e representaremos pela letra grega Lambda “ $\lambda$ ”.

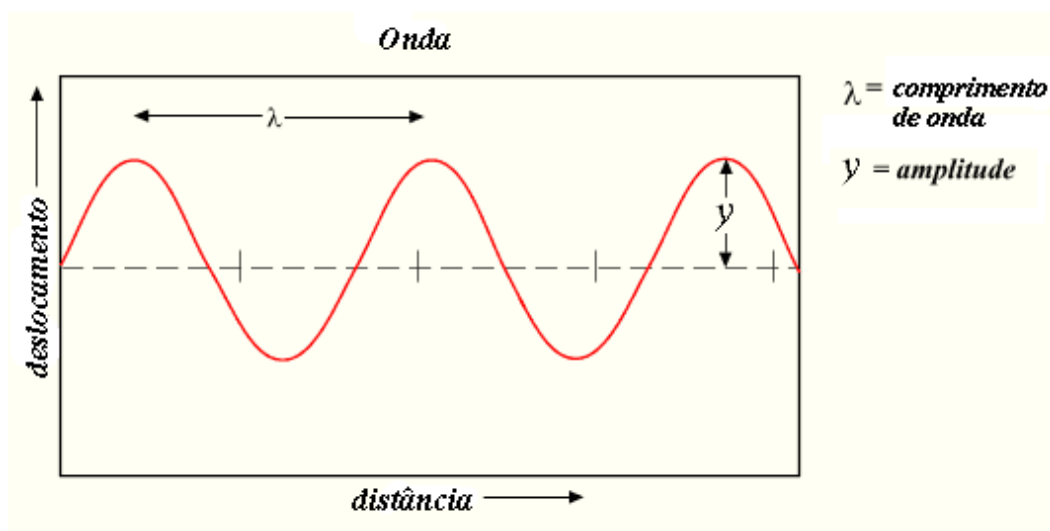


Figura 26 - Ilustração explicativa sobre o comprimento de onda.

#### 5.5.5 Amplitude

Amplitude de uma onda é a medida da magnitude da máxima perturbação do meio durante um ciclo da onda. A unidade utilizada para a medida depende do tipo da onda. Por exemplo, a amplitude de ondas de som e sinais de áudio costumam ser expressas em decibéis (dB).

Pegando no exemplo do arremesso de uma pedra para um lago, a amplitude da uma onda vai ser a altura máxima que a onda vai ter a partir do seu ponto médio de oscilação. Isto pode ser verificado na figura que se segue.

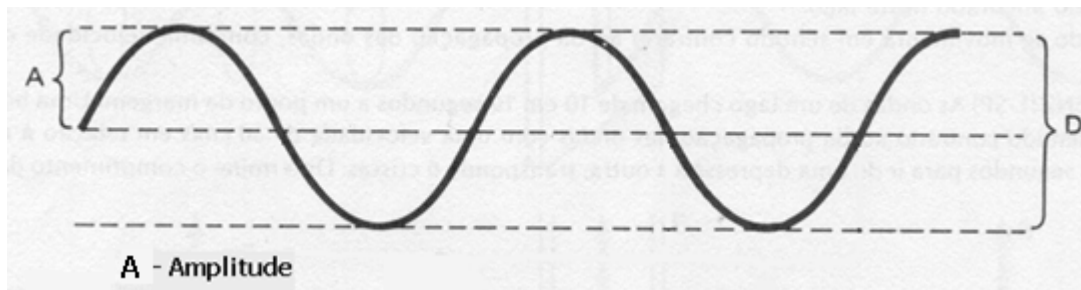


Figura 27 - Espectro de uma onda no qual se está a realçar a sua amplitude.

### 5.5.6 Relações entre velocidade, comprimento de onda e frequência

Considerando uma onda sónica que se propaga num determinado material com velocidade “c”, frequência “f”, e comprimento de onda “ $\lambda$ ”, podemos relacionar estes três parâmetros da seguinte forma:

$$c = \lambda \times f$$

Esta relação, permite calcular o comprimento de onda, pois a velocidade é, em geral, conhecida e depende somente do modo de vibração e do material, por outro lado, a frequência depende somente da fonte emissora, que também é conhecida.

O conhecimento do comprimento de onda é de significativa importância, pois relaciona-se directamente com o tamanho do defeito a ser detectado. Em geral, o menor diâmetro de uma descontinuidade a ser detectada no material deve ser na ordem de  $\lambda/2$ . Assim se inspeccionarmos um material de velocidade de propagação de 5900 m/s com uma frequência de 1 MHz, a mínima descontinuidade que poderemos detectar será de aproximadamente 2,95 mm de diâmetro.

## 5.6 Definições de Bell, Decibell e Ganho

### 5.6.1 Intensidade Sonora

A intensidade é a energia transportada pela onda sonora que atravessa a unidade de área de uma superfície situada perpendicularmente à direcção de



propagação, por unidade de tempo. Assim, a unidade no sistema SI de intensidade é o  $\text{Wm}^{-2}$ . Usualmente, no entanto, mede-se a intensidade em  $\text{Wcm}^{-2}$ .

A intensidade de um som depende da amplitude da onda, mas é independente da frequência. Assim, podemos ter um som forte (muito intenso) de baixa frequência (grave) ou um som fraco (pouco intenso) de alta frequência (agudo).

A intensidade sonora não é, de facto, uma grandeza apropriada devido à gama muitíssimo alargada de valores possíveis que vai de  $10^{-12} \text{ W/m}^2$  a  $10^4 \text{ W/m}^2$ , ou ainda mais! Como o ouvido humano não avalia de forma directamente proporcional as diferentes intensidades sonoras: por exemplo, um som com o dobro da intensidade de outro causa uma sensação auditiva que não parece ser o dobro. Os sons mais fortes parecem menos intensos do que são de facto.

Por estes motivos criou-se uma outra grandeza física, designada por *nível de intensidade sonora*, relacionada com a intensidade. O nível de intensidade sonora mede-se em *decibéis*, unidade que se representa por dB.

### 5.6.2 Nível de Intensidade Sonora

O “Bell”, abreviando “B”, é uma grandeza que define o nível de intensidade sonora (NIS) que compara as intensidades de dois sons distintos, como segue:

$$N.I.S. = \text{Log} \frac{I}{I_0} B$$

Onde  $I$  e  $I_0$  são duas intensidades sonoras medidas em Watts por centímetros quadrados ( $\text{W/cm}^2$ ).

Por outro lado, o decibell equivale a 1/10 do Bell e é normalmente utilizado para medidas de N.I.S., portanto a equação será:

$$N.I.S. = 10 \log \frac{I}{I_0} dB$$

Entretanto, a teoria dos movimentos harmónicos na propagação ondulatória refere que a intensidade de vibração é proporcional ao quadrado da amplitude sonora,  $I = (A)^2$ , e portanto devemos rescrever na forma de N.A.S (nível de amplitude sonora):

$$N.A.S. = 10 \log \frac{(A)^2}{(A_0)^2} dB, \text{ ou seja,}$$

$$N.A.S. = 20 \log \frac{A}{A_0} dB$$

Esta relação pode ser entendida como sendo a comparação efectuada por um sistema electrónico de duas amplitudes de sinais, emitida e recebida pelo transdutor ultra-sónico, ou simplesmente conhecido por “Ganho”.

Como o nível de intensidade sonora vem substituir a intensidade, em seguida está apresentada uma tabela de conversão de intensidade para nível de intensidade, e vice versa.

Intensidade /W/m <sup>2</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	...	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>0</sup> =1
Nível de intensidade /dB	0	10	20	30	...	90	100	110	120

**Tabela 2 - Tabela de conversão de intensidade para nível de intensidade, e vice-versa.**

Sabendo que todos os dias estamos perante ruídos de diferentes níveis de intensidade sonora. Assim se para a mesma frequência se fizer variar a intensidade sonora podemos verificar a seguinte relação entre os sons que ouvimos no nosso dia-a-dia com os níveis de intensidade.

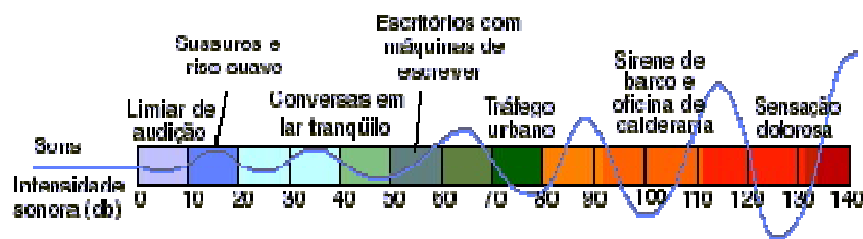


Figura 28 - Representação da equivalência de algumas intensidades sonoras com os ruídos do dia-a-dia.

Com a variação do nível de intensidade desde 0 dB até ao limiar da dor, obtêm-se um audiograma. Este tipo de gráfico representa o nível de intensidade em função da frequência. Contudo se representar os limiares dos audiogramas para diferentes frequências obtêm-se o seguinte gráfico.

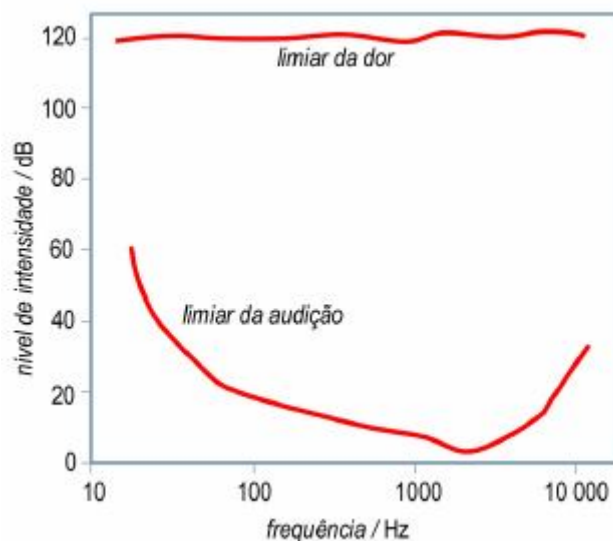


Figura 29 - Gráfico representativo dos limites do ouvido humano para diferentes frequências.

O gráfico a cima demonstra os limites de audição para diferentes frequências quando se estiver perante uma pessoa jovem e sem qualquer tipo de lesão auditiva.

## 5.7 Propagação das Ondas Acústicas no Material

Todo o tipo de onda quando emitida vai sofrer alguma alteração das suas características. Assim, a propagação das ondas – sónicas é semelhante aos outros tipos

de onda, podendo sofrer fenómenos sónicos como as restantes ondas. Para mais informações sobre os fenómenos sónicos consultar anexoC.

### 5.7.1 Campo Próximo ou Zona de Fresnel

Para o entendimento dos fenómenos que iremos descrever a seguir, imaginemos que o cristal piezoelétrico, gerador de ondas ultra-sónicas, seja formado por infinitos pontos oscilantes de forma que cada ponto produz ondas que se propagam num determinado meio.

Tal e qual uma pedra que cai num lago de águas calmas produzirá ondas circulares na superfície, cada ponto do cristal também se comportará da mesma forma, ou seja, produzirá ondas esféricas no meio de propagação, como mostra a figura 30. Os pontos seleccionados 1, 2 e 3 do cristal emitem ondas esféricas que se propagam no meio.

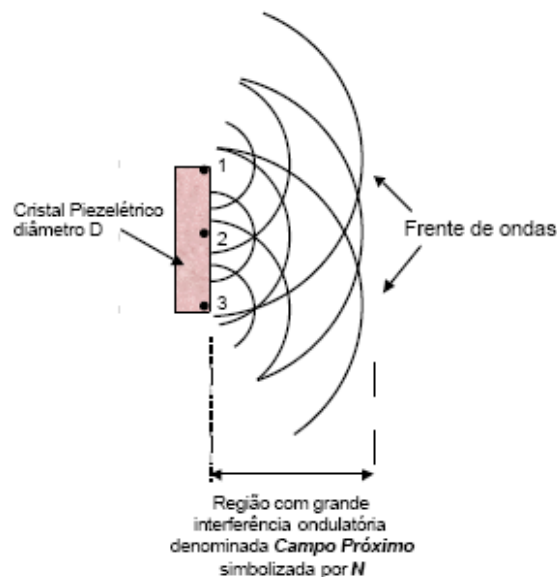


Figura 30 - Campo sónico junto às paredes do cristal.

Note que nas proximidades do cristal existe uma interferência ondulatória muito grande entre as ondas provenientes dos pontos 1, 2 e 3 do cristal. À medida que nos afastamos do cristal, as interferências vão diminuindo e desaparecendo, tornando uma só frente de onda. A esta região próxima do cristal, onde os fenómenos acima descritos se manifestam, denomina-se **Campo Próximo**, com uma extensão **N** que depende do

diâmetro do cristal e do comprimento de onda  $\lambda$  da vibração, podendo ser calculado pela fórmula:

$$N = \frac{D_{ef}^2}{4 \cdot \lambda} \text{ ou } N = \frac{D_{ef}^2 \cdot f}{4 \cdot V}$$

Onde:

Def = diâmetro efectivo do cristal. É a área acusticamente efectiva do cristal, que depende da sua forma geométrica.

Para cristais circulares, Def = 0,97 x diâmetro do cristal.

Para cristais rectangulares, Def = 0,97 x metade do comprimento do lado maior do cristal.

f = frequência ultra-sónica

$\lambda$  = Comprimento de onda

V = velocidade de propagação do som =  $\lambda \times f$

O campo próximo representa para efeitos práticos, uma dificuldade na avaliação ou detecção de pequenas discontinuidades, isto é, menores que o diâmetro do transdutor, situadas nesta região próximas do transdutor.

Portanto o inspector de ultra-som deve ficar atento ao diâmetro do ponto que está a medir.

### 5.7.2 Campo Longínquo ou Distante ou Zona de Fraunhofer

A região que vem a seguir ao campo próximo é o campo longínquo, também denominado pela literatura especializada como **Campo Distante**. Nesta região, a onda sónica diverge de um modo igual ao feixe de luz de uma lanterna em relação ao eixo central e ainda diminui de intensidade com o inverso do quadrado da distância.

Devido à existência do campo próximo, do campo distante e do fenómeno da divergência, o campo sónico tem a forma geral visualizada conforme a figura seguinte.

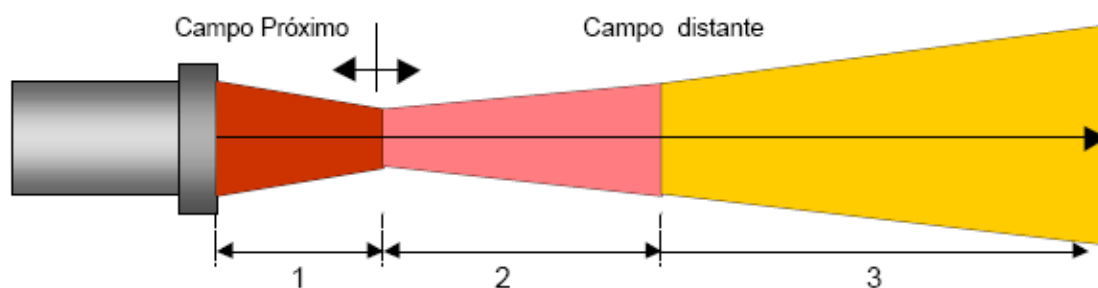


Figura 31 - Classificação teórica das diferentes zonas do camposónico.

O campo sónico de um transdutor é representado pela região (1), onde pequenas discontinuidades são dificilmente detectadas (**campo próximo**), pela região (2), onde discontinuidades maiores podem ser detectadas e pela região (3), onde qualquer discontinuidade compatível com o comprimento de onda pode ser detectada. As linhas limítrofes do campo no desenho são meramente didácticas, e não significa que não exista nenhuma vibração sónica nestas regiões.

### 5.7.3 Atenuação Sónica

O fenómeno da atenuação é importante quando inspeccionamos peças em que este factor pode inviabilizar o ensaio. É o caso das soldaduras em aços inoxidáveis austeníticos, peças forjadas em aços inoxidáveis, que são exemplos clássicos desta dificuldade. O controle e avaliação da atenuação nestes casos é razão para justificar procedimentos de ensaio especiais.

A tabela abaixo, apresenta alguns valores de atenuação.

Material aço Cr-Ni	Atenuação Sônica em ( dB/mm)
Forjados	0,009 a 0,010
Laminados	0,018
Fundidos	0,040 a 0,080

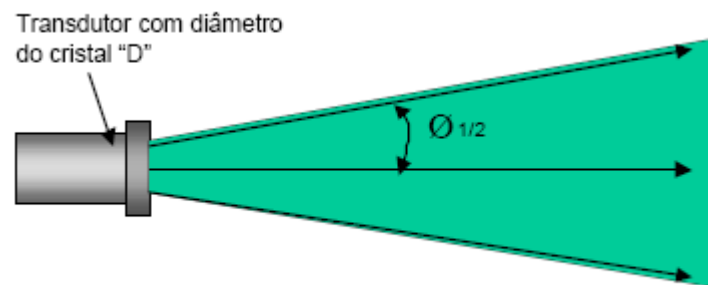
Tabela 3 - Valores da atenuação em diferentes materiais.

(ANDREUCCI, Ricardo; "Ensaio Por Ultra-Som"; Abende; pag. 17)

#### 5.7.4 Divergência do Feixe Sónico (ultra-sons)

Outro fenómeno físico que é responsável pela perda de parte da intensidade ou energia da onda sónica é a divergência que se pronuncia à medida que afastamos a fonte emissora das vibrações acústicas.

Tal fenómeno pode ser observado quando detectamos um pequeno defeito com o feixe central do transdutor, em que nestas condições a amplitude do eco no monitor do aparelho é máxima. Porém quando afastamos o transdutor lateralmente ao defeito, a amplitude diminui, indicando uma queda da sensibilidade de detecção do mesmo defeito. Este fenómeno é medido pelo factor "k" na fórmula da divergência, e assume valores mostrados na tabela seguinte. Quanto mais o limite lateral do feixe sónico incide na descontinuidade, menor será a amplitude do eco, que está relacionado com o factor "k".



$$\text{Sen } 1/2 \text{ } \varnothing = k \cdot \text{Velocidade} / \text{frequência} \times \text{diâmetro}$$

Figura 32 - Imagem representativa da divergência do feixe sónico.

k	%	dB
0,37	71	-3,0
0,51	50	-6,0
0,70	25	-12,0
0,87	10	-20,0
0,93	6	-24,0
1,09	1	-40,0
1,22	0	0

Tabela 4 - Tabela com os valores de k em função da redução da intensidade sónica.

(ANDREUCCI, Ricardo; "Ensaio Por Ultra-Som"; Abende; pag. 18)

A figura seguinte mostra a diferença de sensibilidade (altura do eco de reflexão) quando detectamos o defeito com o feixe ultra-sónico central (1) e quando detectamos o mesmo defeito com o limite lateral do feixe ultra-sónico (2).

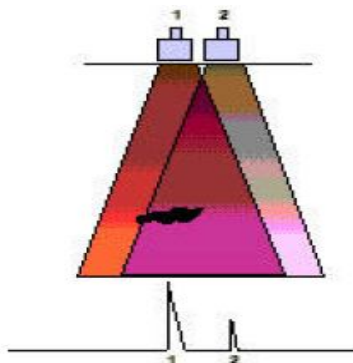


Figura 33 - Variação da sensibilidade de detecção de descontinuidades em função da divergência.

## 5.8 Geração das Ondas ultra-sónicas

### 5.8.1 Efeito Piezoelétrico

As ondas ultra-sónicas são geradas ou introduzidas no material através de um elemento emissor com uma determinada dimensão e que vibra com uma certa frequência. Este emissor pode apresentar-se com determinadas formas (circular, rectangular). Tanto o elemento emissor como o receptor são denominados transdutores ou cabeçotes.

Diversos materiais (cristais) apresentam o efeito piezoelétrico. Se utilizarmos uma lâmina com um determinado formato (placa) e aplicarmos uma pressão sobre a mesma, surgem na sua superfície cargas eléctricas. O efeito inverso também é verdadeiro, se aplicarmos dois eléctrodos sobre as faces opostas de uma placa de cristal piezoelétrico, de maneira a que possamos carregar as faces electricamente, a placa comporta-se como se estivesse sobre pressão e diminui de espessura.

O cristal piezoelétrico pode transformar a energia eléctrica alternada em oscilação mecânica e transformar a energia mecânica em eléctrica.





**Figura 34 - Contração e expansão dos cristais piezoelétrico.**

Tal fenómeno é obtido aplicando-se eléctrodos no cristal piezoelétrico com tensão eléctrica alternada da ordem de 1000 V, de maneira a que o mesmo se contraia e se estenda ciclicamente. Se tentarmos impedir esse movimento, a placa transmite esforços de compressão às zonas adjacentes, emitindo uma onda longitudinal, cuja forma depende da frequência de excitação e das dimensões do cristal.

### 5.8.2 Tipos de Cristais

Materiais piezoelétrico são: o quartzo, o sulfato de lítio, o titanato de bário, o metaniobato de chumbo.

Quartzo é o material piezoelétrico mais antigo, translúcido e duro como o vidro sendo cortado a partir de cristais originários no Brasil. Sulfato de Lítio é um cristal sensível à temperatura e pouco resistente. Titanato de bário e metaniobato de chumbo são materiais cerâmicos que recebem o efeito piezoelétrico através de polarização.

Estes dois cristais são os melhores emissores, produzindo impulsos ou ondas de grande energia, quando comparadas com aquelas produzidas por cristais de quartzo.

Para a inspecção ultra-sónica, interessa não só a potência de emissão, mas também a sensibilidade da recepção (resolução). A frequência ultra-sónica gerada pelo cristal dependerá da sua espessura, cerca de 1 mm para 4 MHz e 2 mm para 2 MHz. Em seguida está representada uma tabela com as características técnicas de cada material com transdutor.

Material	Eficiência como transmissor	Eficiência como receptor	Sensibilidade	Poder de resolução	Características mecânicas
Quartzo	Má	Média	Escassa	Óptima	Boa
Sulfato de lítio	Média	Boa	Boa	Óptima	Solúvel em água
Titanato de bário	Boa	Média	Óptima	Média	Frágil
Metaniobato de bário	Boa	Média	Óptima	Óptima	Boa
Zirconato titanato de chumbo	Boa	Média	Óptima	Média	Boa

**Tabela 5 - Tabela de características dos diferentes materiais usados nos transdutores.**

(<http://www.monografias.com/trabajos14/ultrasonido/ultrasonido.shtml>)

### 5.8.3 Tipos de Transdutores

Os cristais acima mencionados são montados sobre uma base de suporte (bloco amortecedor), junto com os eléctrodos e a carcaça externa constituem o transdutor ou cabeçote propriamente dito. Existem três tipos usuais de transdutores: Recto ou Normal, o angular e o duplo – cristal.

#### 5.8.3.1 Transdutores Normais ou Rectos

São assim chamados os transdutores mono-cristal geradores de ondas longitudinais normais à superfície de acoplamento.

Estes transdutores são construídos a partir de um cristal piezoelétrico colado num bloco rígido, denominado de amortecedor, com a sua parte livre protegida por uma membrana de borracha ou com uma resina especial. O bloco amortecedor tem função de servir de apoio para o cristal e absorver as ondas emitidas pela face colada a ele.

O transdutor emite um impulso ultra-sónico que se propaga no material a inspeccionar e reflecte nas interfaces, originando o que chamamos de ecos. Estes ecos retornam ao transdutor e gera, no mesmo, o sinal eléctrico correspondente.

A face de contacto do transdutor com a peça deve ser protegida contra desgastes mecânicos podendo utilizar membranas de borracha finas e resistentes ou camadas fixas de epoxi enriquecido com óxido de alumínio.

Em geral os transdutores normais são circulares, com diâmetros de 5 a 24 mm, com frequência de 0,5; 1; 2; 2,5; 5 e 6 MHz. Outros diâmetros e frequências existem, porém, para aplicações especiais.

O transdutor normal tem a sua maior utilização na inspecção de peças com superfícies paralelas ou quando se deseja detectar descontinuidade na direcção paralela à superfície da peça. É o exemplo de chapas, fundidos e forjados.

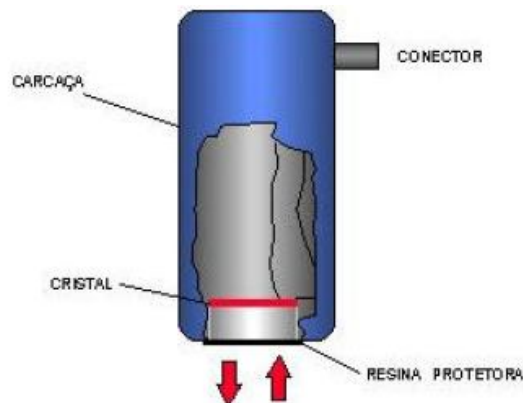


Figura 35 - Transdutor mono cristal.

### 5.8.3.2 Transdutores Angulares

São transdutores que diferem dos transdutores rectos pelo facto do cristal formar um determinado ângulo com a superfície do material. O ângulo é obtido, inserindo-se uma cunha de plástico entre o cristal piezoelétrico e a superfície. A cunha pode ser fixa, sendo então englobada pela carcaça, ou removível. Neste último caso temos um transdutor normal que é preso com parafusos que o fixam a cunha à carcaça. Como na prática operamos normalmente com diversos ângulos (35, 45, 60, 70 e 80 graus) esta solução é mais económica já que um único transdutor com várias cunhas é de custo inferior, porém necessitam de maiores cuidados no manuseio.

O ângulo nominal, sob o qual o feixe ultra-sónico penetra no material vale somente para inspecção de peças em aço. Se o material for outro, deve calcular-se o ângulo real de penetração utilizando a Lei de Snell. A mudança do ângulo deve-se à mudança de velocidade no meio.

O cristal piezoelétrico, com dimensões que podem variar entre 8 x 9 mm até 15 x 20 mm, somente recebe ondas ou impulsos ultra-sónicos que penetram na cunha numa direcção paralela à de emissão, em sentido contrário. A cunha de plástico funciona como amortecedor para o cristal piezoelétrico, após a emissão dos impulsos. O transdutor angular é muito utilizado na inspecção de soldaduras e quando a descontinuidade está orientada perpendicularmente à superfície da peça.

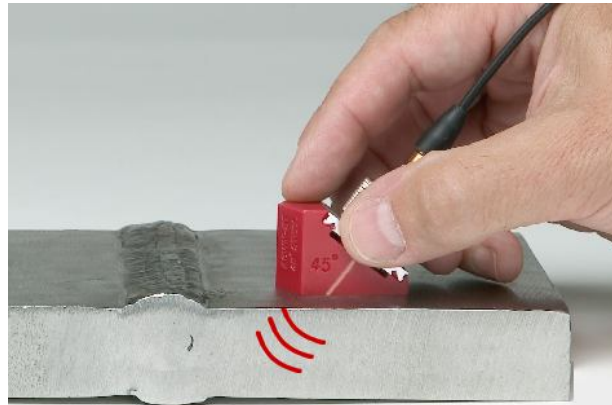


Figura 36 - Imagem de um transdutor angular.

#### 5.8.3.3 Transdutores Duplo-Cristal ou SE

Existem problemas de inspecção que não podem ser resolvidos nem com transdutores rectos nem com angulares. Quando se trata de inspeccionar ou medir materiais de reduzida espessura, ou quando se deseja detectar descontinuidades logo abaixo da superfície do material, a “zona morta” existente no ecrã do aparelho impede uma resposta clara. O cristal piezoelétrico recebe uma “resposta” num curto espaço de tempo após a emissão, não tendo as suas vibrações sido amortecidas suficientemente.

Neste caso, somente um transdutor que separa a emissão da recepção pode ajudar. Portanto, desenvolveu-se o transdutor de duplo-cristal, no qual dois cristais são incorporados na mesma carcaça, separados por um material acústico isolante e levemente inclinados em relação à superfície de contacto. Cada um deles funciona somente como emissor ou somente como receptor, sendo completamente indiferente qual deles exerce qual função. São conectados ao aparelho de ultra-som por um cabo

duplo; o aparelho deve ser ajustado para trabalhar com 2 cristais. Os cristais são montados sobre blocos de plástico especial de baixa atenuação.

Devido a esta inclinação, os transdutores duplos não podem ser usados para qualquer distância (profundidade). Possuem sempre uma faixa de inspecção óptima, que deve ser observada. Fora desta zona a sensibilidade vai progressivamente reduzindo. Em certos casos estes transdutores duplos são utilizados com “focalização”, isto é, o feixe é concentrado numa determinada zona do material para a qual se deseja máxima sensibilidade.

O transdutor duplo-cristal é o mais indicado e largamente utilizado nos procedimentos de medição de espessura por ultra-som.

O transdutor angular é muito utilizado na inspecção de soldaduras e quando a descontinuidade está orientada perpendicularmente à superfície da peça.

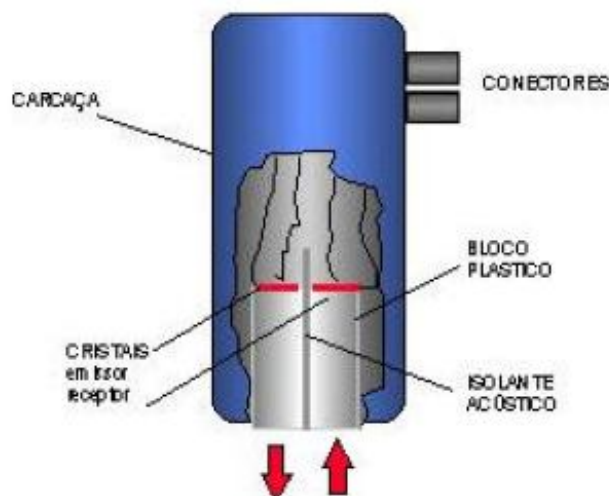


Figura 37 - Transdutor de duplo cristal.

O transdutor duplo-cristal tem a sua maior utilização na detecção de descontinuidades próximas da superfície, abaixo de 3 mm de profundidade e na medição de espessuras, devido ao seu feixe sónico ser focalizado. Em geral, por ocasião da aquisição deste transdutor, deve-se verificar qual a faixa de espessura que se pretende medir, e qual o modelo ideal para esta aplicação.

## 5.8.4 Acoplantes

Ao acoplarmos o transdutor sobre a peça a ser inspeccionada, imediatamente se estabelece uma camada de ar entre a ponta do transdutor e a superfície da peça. Esta camada de ar impede que as vibrações mecânicas produzidas pelo transdutor se propaguem para a peça, em virtude das características acústicas (impedância acústica) muito diferentes do material a inspeccionar.

A impedância acústica "Z" é definida como sendo o produto da densidade do meio ( $\rho$ ) pela velocidade de propagação neste meio (V), ( $Z = \rho \times V$ ) e representa a quantidade de energia acústica que se reflecte e transmite para o meio. Como exemplo podemos citar que a interface entre a água e o aço, apenas transmite 12% e reflecte 88% da energia ultra-sónica.

Por esta razão, deve-se usar um líquido que estabeleça uma redução nesta diferença, e permita a passagem das vibrações para a peça. Tais líquidos, denominados líquidos acoplantes são escolhidos em função do acabamento superficial da peça, do tipo de material, da forma da peça, das dimensões da área em estudo e da posição para inspecção. A tabela seguinte descreve alguns acoplantes mais utilizados.

Acoplante	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Velocidade da onda long. (m/s)	Impedância Acústica (g/cm <sup>2</sup> .s)
Óleo ( SAE 30)	0,9	1700	$1,5 \times 10^3$
Água	1,0	1480	$1,48 \times 10^3$
Glicerina	1,26	1920	$2,4 \times 10^3$
Carbox Metil Celulose (15g/l)	1,20	2300	$2,76 \times 10^3$
Aço	7,8	5.900	$46 \times 10^3$
Ar ou gas	0,0013	330	$0,00043 \times 10^3$
Aço inoxidável	7,8	5.800	$45,4 \times 10^3$
Alumínio	2,7	6.300	$17,1 \times 10^3$
Acrílico	1,18	2.700	$3,1 \times 10^3$

Fonte: SONIC Instruments – catálogo de fórmulas e dados

**Tabela 6 - Impedância acústica de alguns materiais e acoplantes.**

(ANDREUCCI, Ricardo; "Ensaio Por Ultra-Som"; Abende; pag. 27)

## 5.9 Técnicas de Inspeção

### 5.9.1 Técnica de Impulso-Eco ou Pulso-Eco

É a técnica onde somente um transdutor é responsável por emitir e receber as ondas ultra-sônicas que se propagam no material. Portanto, o transdutor é somente acoplado a um lado do material, podendo ser verificada a profundidade da descontinuidade, suas dimensões, e localização na peça.

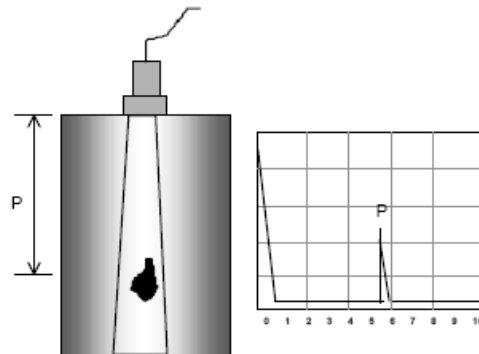


Figura 38 - Esquema da técnica Impulso-Eco.

### 5.9.2 Técnica de Transparência

É uma técnica onde são utilizados dois transdutores separados, um transmitindo e outro recebendo as ondas ultra-sônicas. Neste caso é necessário acoplar os transdutores aos dois lados da peça, para que estes estejam perfeitamente alinhados. Neste tipo de inspeção, não se pode determinar a posição da descontinuidade, sua extensão, ou localização na peça, é somente um ensaio do tipo passa não-passa.

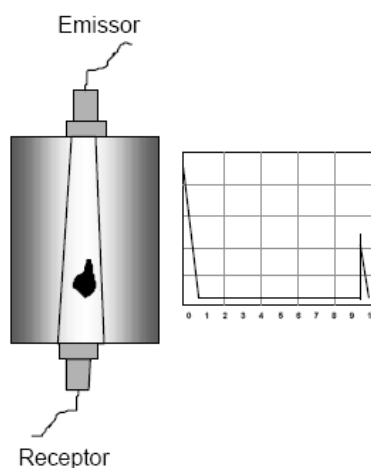


Figura 39 - Esquema da técnica da Transparência.

A técnica de transparência pode ser aplicada em chapas, juntas soldadas e barras. O intuito destes ensaios é estabelecer um critério comparativo de avaliação do sinal recebido, ou seja, da altura do eco na tela.

A altura do sinal recebido na técnica de transparência varia em função da quantidade e tamanho das descontinuidades presentes no percurso das vibrações ultra-sônica. Sendo assim o inspetor não sabe analisar as características das indicações, porém, compara a queda do eco com uma peça sem descontinuidades podendo assim estabelecer critérios de aceitação do material fabricado.

Este método pode ser aplicado em chapas maquinadas, barras forjadas ou fundidas, e em alguns casos de soldadura.

## **5.10 Descrição dos Aparelhos Medidores de Espessura por ultra-som**

Os medidores de espessura por ultra-som podem apresentar-se com circuitos digitais ou analógicos, sendo aparelhos simples que medem o tempo do percurso sônico no interior do material, através da espessura, registrando no “display” o espaço percorrido, ou seja, a própria espessura. Operam com transdutores duplo-cristal, e possuem exactidão de décimos ou até centésimos dependendo do modelo.

São aparelhos bastante úteis para medição de espessuras de chapas, tubos, taxas de corrosão em equipamentos industriais, porém para a obtenção de bons resultados é necessária a sua calibração antes do uso, usando blocos com espessuras calibradas e do mesmo material a ser medido, com o ajuste correcto da velocidade de propagação do som do aparelho.

Os aparelhos medidores de espessura digitais, são dotados de circuitos de memória que podem armazenar centenas de dados referentes a espessuras medidas.





Figura 40 - Aparelho de medir espessuras.

### 5.11 Descrição básica de um Aparelho de ultra-sons.

Observe agora a figura seguinte, que mostra um transdutor ultra-sónico acoplado a uma peça com espessura de 8 mm, e o ecrã ao lado do aparelho mostrando o eco "E2", proveniente da espessura da peça.

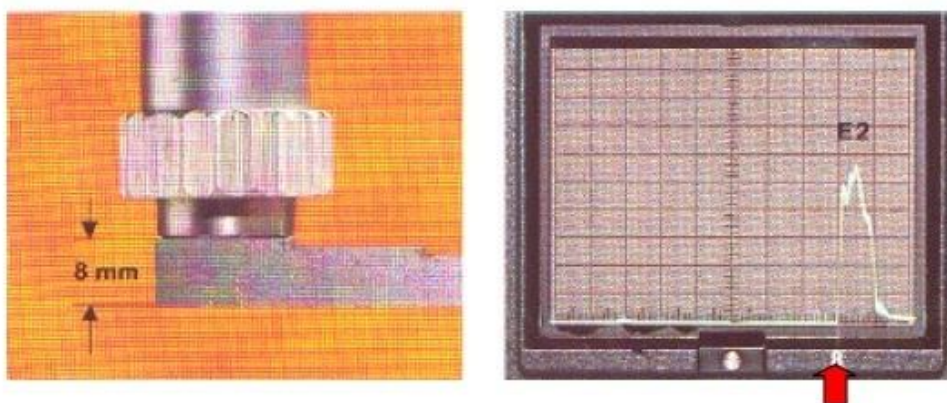


Figura 41 - Exemplo de aplicação de um equipamento de ultra-sons.

### 5.11.1 Eco de Fundo

#### Procedimento:

- 1 -O cristal piezoelétrico do transdutor transmite à peça uma onda ultra-sónica perpendicular à superfície que percorre a espessura total de 8 mm do metal;
- 2 - A onda incide na superfície oposta da peça, retorna ao cristal e este produz um sinal eléctrico que será amplificado e registado na tela do aparelho na forma do pulso ou eco, identificado na figura como "E2";
- 3 – A onda percorreu a espessura de 8 mm de ida e mais 8 mm na volta – isto ocorre sempre na inspecção por ultra-som, por isso, os circuitos do aparelho compensam este fenómeno dividindo por 2 os registos no ecrã.

É importante mencionar que o som que percorre a espessura do metal se reflecte nas interfaces formadas pelo conjunto das superfícies da peça, isto é, o ultra-som emitido pelo cristal do transdutor realiza no interior da peça um movimento em zig-zag de ida e volta, reflectindo-se no fundo da peça e superfície, continuamente.

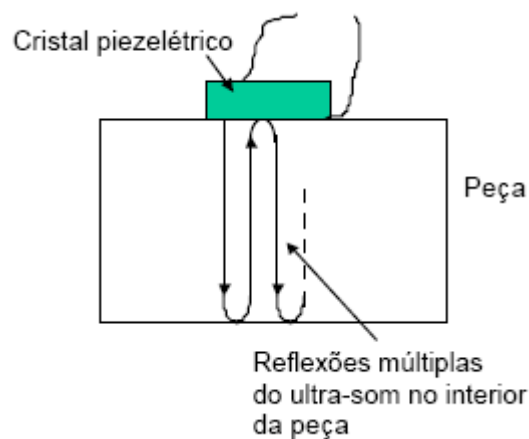


Figura 42 - Esquema das reflexões.

Para cada incidência do ultra-som na superfície oposta de acoplamento do cristal, um sinal será transmitido ao aparelho e um eco correspondente a este sinal será visualizado no ecrã. Portanto será possível observar vários ecos de reflexão de fundo correspondentes à mesma espessura.

## 5.12 Formas de Apresentação das Indicações no sinal dos Aparelhos

O sinal do aparelho de ultra-som pode apresentar de três formas básicas, que são:

- A-scan
- B-scan
- C-scan

O aparelho de ultra-som deve incorporar circuitos electrónicos especiais para cada forma de apresentação. Assim, o inspector deve identificar no aparelho quais as formas de apresentação disponíveis para uso.

### 5.12.1 Forma de apresentação A-Scan

Neste tipo de apresentação, o sinal do aparelho mostra a forma tradicional de visualização da tela ou seja na forma de ecos de reflexão.

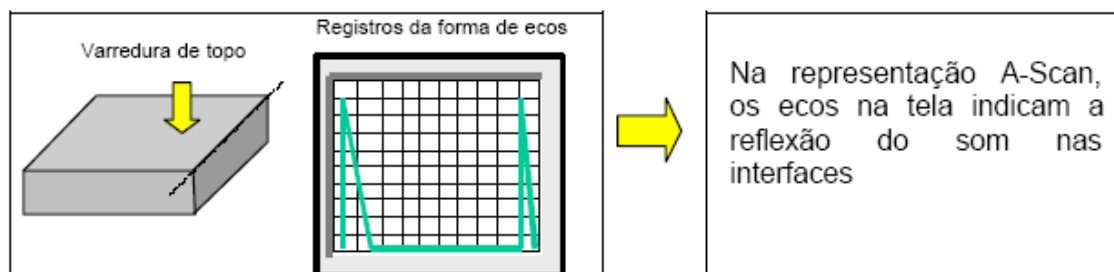


Figura 43 - Representação A-scan.

### 5.12.2 Forma de apresentação B-Scan

Neste tipo de apresentação, o sinal do aparelho mostra a secção transversal da peça, e portanto a visualização da peça é feita em corte. Este tipo de apresentação não é convencional e somente aparelhos dotados de funções especiais são capazes de mostrar esta forma de apresentação.

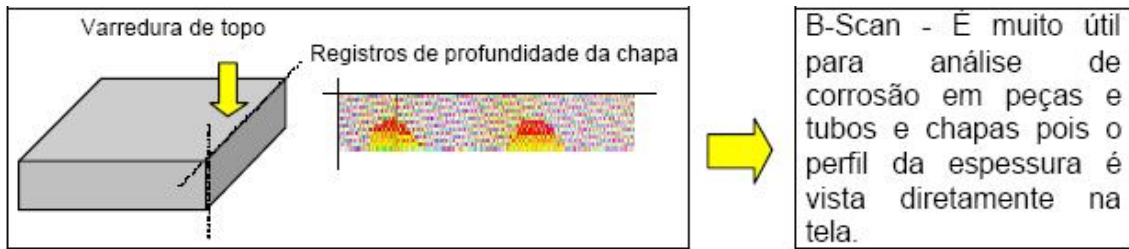


Figura 44 - Representação B-Scan.

### 5.12.3 Forma de apresentação C-Scan

Este tipo de apresentação não é convencional, e somente aparelhos dotados de funções especiais são capazes de mostrar este tipo de apresentação.



Figura 45 - Rpresentação C-Scan.

## 6. Trabalhos desenvolvidos ao longo de todo o projecto.

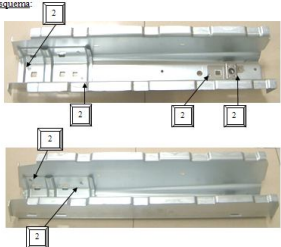

### 6.1 Elaboração das Gamas de Controlo do Processo de Soldadura por Ultra-sons.

As gamas de controlo são um dos elementos fundamentais para se garantir uma qualidade elevada dos produtos produzidos. Elas testam todas as exigências impostas pelos clientes em várias alturas do processo produtivo. Fundamentalmente, a gama de controlo funciona como uma guia, referindo todos os parâmetros que se tem de controlar, a forma como o executar e a frequência com que os efectuar o controlo.

Para o caso das gamas de controlo por ultra-sons é imposto a verificação da conformidade do posto de trabalho (limpeza, arrumação, existência de todos os documentos) e dos registos dos controlos. Por outro lado, é exigida a verificação da existência de todos os pontos soldados existentes no plano, bem como o controle dos mesmos através do ensaio de ultra-sons. Por fim, também é exigido um ensaio de arrancamento, o qual possui uma frequência bastante mais baixa que o caso dos ultra-sons.

Para o caso dos ultra-sons, podemos dividir as gamas em dois formatos. As gamas de controlo de peças soldadas e o caso das caixas das pedaleiras. As suas formas são muito semelhantes, diferenciando-se pela forma como a informação é apresentada. Em seguida está apresentado uma gama de cada um dos dois tipos referidos.

- Gama de uma peça soldada.

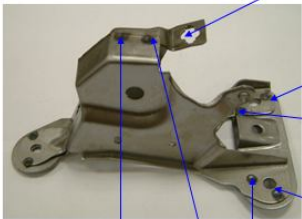


PORTUGAL		GAMA DE CONTROLO DO PROCESSO DE SOLDADURA POR ULTRA-SONS		Referência SAP	Referência Cliente	Designação:
				S816030V00	9681603080	Traverse AR Assise AV D ASS
Operação: OP S20 SOLDADURA POR PONTOS		Peças: E803946V20 E816057V20		E803948V20	Ref SAP Componente: Z816075VTU	
Modificação	Índice	Data	Revisão	Processo		
Origem	OR-00	13/10/04		Recepção de Matéria-prima		
Rev. da docum.	OR-00	22/03/07		OP S20 SOLDADURA POR PONTOS		
Act. Tolerâncias	B-02	15/09/07		Armazen		
Observações:				Observações de Embalagem:		
						
Nº	Característica	Meio Controlo	Frequência (Nº)	Autocontrolo (Nº)	Auditoria (Nº)	
1	Conformidade Posto Trabalho: Mat. Prima, Componentes, Matos Controla	Visual	5 peças no arranque	5 peças no arranque	5 peças no arranque	
2	Registos: Matéria-prima, Autocontrolo, Armazen, Controlo Visual	Visual	5 peças no arranque	5 peças no arranque	5 peças no arranque	
3	Avaliação da rebatida: encruamento, deformação, falta de material, fissuras	Visual	5 peças no arranque	5 peças no arranque	5 peças no arranque	
4	Verificar a conformidade do ponto de soldadura através dos ultra-sons	Banca de Ultra-sons	5 peças no arranque	5 peças no arranque	5 peças no arranque	
5	Efectuar o ensaio destrutivo nos 6 pontos de soldadura (arrancamento de material)	Banca de ensaios = Material = Ponto	5 peças no arranque	5 peças no arranque	5 peças no arranque	

201211\_A3088\_Guia de Controlo em Processo-Soldadura

Figura 46 - Gama de Controlo de Ultra-sons para a peça S816030V00 (Traverse AR Assise AV D ASS).

- Gama de Controlo para uma caixa de uma pedaleira.

	<b>GAMA DE CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDADURA POR ULTRA-SONS</b>	Referência SAP: <b>S102197V20</b> <b>S102197V30</b>	Referência Cliente: <b>S001021X74</b> <b>S001021X97</b>	Denominação: <b>ENS SUPPORT DEBRAYAGE DAD</b>
Operação: <b>ENSAIO DE SOLDADURA</b>		Peças S / R :	Peças / Cont.:	Emb.:

PARÂMETROS A CONTROLAR VER FOLHA 2

F02111\_A\_DPR\_Gama de Controle em Processo Soldadura de Pedaleira

	<b>GAMA DE CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDADURA POR ULTRA-SONS</b>	Referência SAP: <b>S102197V20</b> <b>S102197V30</b>	Referência Cliente: <b>S001021X74</b> <b>S001021X97</b>	Denominação: <b>ENS SUPPORT DEBRAYAGE DAD</b>
FOLHA 1				
Operação: <b>ENSAIO DE SOLDADURA</b>		Peças S / R :	Peças / Cont.:	Emb.:

Modificação	Índice	Data	Rubrica	Observações:	Processo	
criação		10/11/03			OP 20	SOLDADURA CAIXA
MOD. INDICE		09/11/04			OP 30	SOLDADURA ENTRETOISE
						MONTAGEM

S102197V20 INDICE B05 / S102197V30 INDICE B06

Nº	Característica	Meio Controle	Preparação (NII)	Autocontrole(NII)	Auditoria (NIII)
1	Conformidade Posto Trabalho	Visual	No arranque	No arranque	No arranque
2	Registos: Auto Controla, Controle Volante, Arranque.	Visual	No arranque 1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas
3	Verificar presença dos pontos de soldadura.	Visual	No arranque 1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas
4	Verificar conformidade dos pontos de soldadura através do ensaio de ultra-sons.	Banca de Ultra-sons	No arranque 1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas
5	Verificar diâmetro da zona de arrancamento para os pontos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, mínimo 6 mm.	Banca de Ensaio	No arranque 1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas

FOLHA 2

F02111\_A\_DPR\_Gama de Controle em Processo Soldadura de Pedaleira

Figura 47 - Gama de Controlo de uma caixa da pedaleira S102197V20 (ENS Suport Debrayage Dad).

As gamas anteriores encontram-se disponíveis para consulta no anexo D e E.

## 6.2 Projecto da banca de ultra-sons

A elaboração de um posto de trabalho para efectuar este ensaio não destrutivo é fundamental para a implementação dos ultra-sons. A intenção é diminuir o tempo de deslocação para efectuar este tipo de ensaio. Daí a necessidade de colocar o equipamento de análise o mais próximo da produção, surgindo assim a necessidade de um posto próprio.

A banca de ultra-sons tem como principal função proteger o equipamento de análise, bem como fornecer um local dedicado a este tipo de ensaio. Depois um estudo exaustivo sobre qual seria a forma ideal da banca de ultra-sons, chegou-se à conclusão que esta deveria ter a seguinte forma:

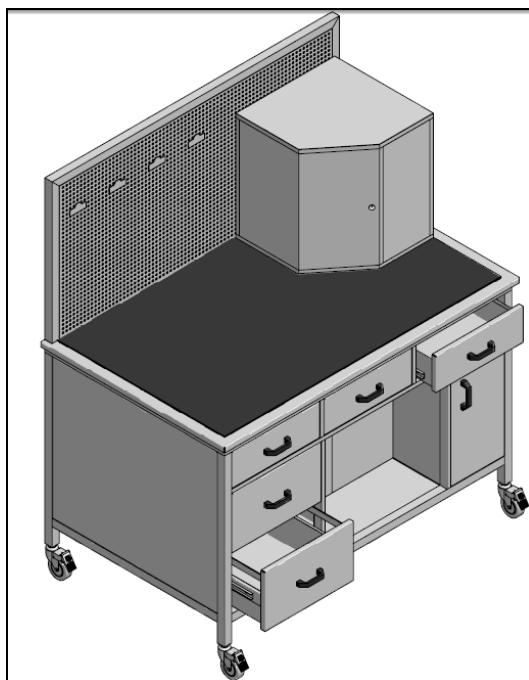


Figura 48- Ilustração da forma final da banca de ultra-sons.

Assim a banca possui um resguardo onde se localiza o monitor, o aparelho de ultra-sons e todo o hardware do computador. O tampo da mesa é constituído por uma superfície aderente para melhor posicionamento das peças. Do nível do tampo para baixo existem gavetas que funcionam como arrumos para material necessário ao ensaio. Também existem duas gavetas de arquivo, que são utilizadas para guardar todo o tipo de documentação.

Todo a documentação relacionada com a banca de ultra-sons encontra-se no anexo F.



### 6.3 Elaboração da instrução de trabalho.

A instrução de trabalho é um dos elementos obrigatório para qualquer equipamento, exigido pela norma ISO/TS 16949.

O documento tem que definir de forma explícita e simples todo o funcionamento de um aparelho/processo. Por outro lado, deve estar disponível a qualquer colaborador ou pessoa externa à empresa, para que quando surgir alguma questão sobre o funcionamento do equipamento ela seja resolvida recorrendo à sua instrução de trabalho.

Este procedimento é fundamental para uma homogeneização de um determinado processo. Assim quando ocorrer uma auditoria, os processos estão todos definidos e documentados de uma forma standard. A instrução elaborada para o caso da banca de ultra-sons encontra-se no anexo G.





## 6.4 Formação dos controladores:

Como foi referido anteriormente, o ensaio de ultra-sons exige alguma experiência do trabalhador que o manuseia. Por outro lado, também é necessário dar a conhecer a forma como o aparelho trabalha aos seus futuros utilizadores.

Assim, foi elaborada uma formação interna para todos os colaboradores que directamente estão ligados a este meio de controlo. Essa formação possui duas componentes, uma teórica e uma prática.

Na parte teórica, possui os seguintes conteúdos:

- Definição do som e a divisão do seu espectro;
- Definição do ultra-som;
- Qual o princípio do ensaio de ultra-sons;
- Apresentação de todas as funcionalidades, cuidados e partes do equipamento de ultra-sons, bem como do seu software;
- Exposição de todas as características do sinal, tal como as formas de o obter;
- Apresentação de todos os sinais possíveis, como as causas a que levam aqueles resultados;
- Cuidados a ter com as superfícies de contacto com as membranas;
- Exposição de todos os tipos de relatórios possíveis.

No que diz respeito à componente prática, ela tem os seguintes objectivos:

- Aplicação de todos os conhecimentos teóricos;
- Aprendizagem da técnica de medição eco pulsado;
- Fomentação para espírito crítico perante os resultados obtidos;
- Aplicação de cuidados a ter com a superfície;
- Efectuar troca de membranas;
- Como guardar um relatório.

Esta formação foi complementada com a entrega de um exemplar da apresentação teórica, bem como do manual do utilizador do aparelho. A finalidade destes apontamentos é que os utilizadores do aparelho possuam alguma bibliografia de consulta em caso de dúvida.

A apresentação elaborada encontra-se no anexo H.



Figura 49 – Imagem do primeiro slide da apresentação dada aos colaboradores.



Figura 50 – Imagem de um dos slides da apresentação aos controladores, o qual aborda o tema do ultra-som.

## 6.5 Ajuste dos parâmetros de um programa.

O método de implementação utilizado tem por base a formulação de um histórico das medições. Assim, o objectivo é atingir um nível de confiança e fiabilidade das medições na ordem dos 85%. Enquanto esse limite não é atingido, tem de se efectuar a destruição de todas as peças medidas.

Este histórico de dados, só é possível se existir um cruzamento de resultados entre o ensaio não destrutivo e o ensaio de arrancamento.

O resultado que se obtém do ensaio não destrutivo, é um relatório informático disponibilizado pelo software do aparelho de ultra-sons, como demonstra a ilustração 57. Este relatório contém informações fundamentais para o ajuste do programa de ultra-sons. Sendo os seus principais campos o resultado, a espessura, o número de picos e a atenuação.

**Reporte de Test SWI: Todos los Puntos**

Operador: Primary Account      Modelo: Gestamp      Foto:      Testeado por: 666  
Turno: Turno Int.      Grupo: Portugal      Plan: Copy of C01      Saltear: Mat00  
Fecha: 11/03/2008 12:16:05      Parte: S816030V00      Comentarios:      Buenos: 6(100,0%)  
Ho. de Test: 1.03.2008 12:16:05 Primary Account,      Malos: 0(0,0%)

Número de Punto	Descripción	Test Resultado	Categoría/Ra	Grosor [mm]	No de Múltiplos	Atenuaci	Gain	Cabezal	UPR Archivo	SWD
1	1	Bueno	Punto Bueno	2,22	3	5,52	32	N20S6.0W	0,67-1,47-	0,67-1,47-
2	2	Bueno	Punto Bueno	2,00	6	2,43	32	N20S6.0W	0,67-1,47-	0,67-1,47-
3	3	Bueno	Punto Bueno	3,61	4	1,75	32	N20S6.0W	1,47-2-	1,47-2-
4	4	Bueno	Punto Bueno	3,55	6	1,20	30	N20S6.0W	1,47-2-	1,47-2-
5	5	Bueno	Punto Bueno	3,61	6	1,19	35	N20S6.0W	1,47-2-	1,47-2-
6	6	Bueno	Punto Bueno	3,61	5	1,39	38	N20S6.0W	1,47-2-	1,47-2-

**Notas:** No Remarks.

1      Fecha del Reporte: 11/03/2008      Preparado Por: Primary Account

Figura 51- Imagem da forma que um dos tipos de relatórios que o programa da ScanMasters emite.

Após o ensaio de arrancamento dos pontos de soldadura, está-se em condições de obter os resultados do ensaio destrutivo. Para que a recolha seja possível, é necessário recorrer a um paquímetro para medir o diâmetro dos pontos de soldadura em questão.



**Figura 52- Método utilizado para a obtenção de resultados do ensaio destrutivo.**

Seguindo as normas impostas pelo cliente, foi considerado que um ponto bom no ensaio de arrancamento seria aquele que possui-se um diâmetro superior aos 5,5 mm.

Quando já estiver recolhida a informação de ambos os ensaios, ela será condensada numa só tabela, como demonstra a ilustração 52.

Esta tabela efectua o cruzamento de informação do ensaio não destrutivo com o do ensaio destrutivo. Caso os resultados num determinado ponto não sejam coincidentes ter-se-á que efectuar um ajuste do programa.

Microsoft Excel - Folha de parâmetros

Siguiente Anterior Zoom Imprimir... Configurar... Márgenes Saltos de página Cerrar Ayuda

GESTAMP PORTUGAL										Tabela de Ajuste de Parâmetros dos Ultra-sons		Data: 15/02/2008	
Referência: S816030V00										Ajustado Por:			
Não destrutivo										Destrutivo			
Ponto	Medição	Chapas	Resultado	Espessura	BW	Db	Atenuação	Min Bwm	Max Bw	Diâmetro	Resultado		
1	10:30	0,67-1,47	Bueno	2,22	3	32	4,21	3	2	4	6	5,78	OK
	10:30		Bueno	2,22	3	36	4,99					7,01	OK
	Fin d Produ		Malo	2	4	33	3,36					6,01	OK
	Mesa1 P2		Bueno	2,16	4	30	3,1					6,72	OK
	Mesa2 P2		Bueno	2,16	3	31	2,21					6,42	OK
2	10:30		Malo	2,16	3	38	3,65	3	2	5	6	6,89	OK
	10:30		Bueno	2,16	4	31	2,58					6,59	OK
	Fin d Produ		Bueno	2,13	5	30	2,36					6,63	OK
	Mesa1 P2		Bueno	2,22	5	29	2,63					7,21	OK
	Mesa2 P2		Bueno	2,16	5	30	2,61					6,39	OK
3	10:30		Bueno	3,49	5	37	1,67	4	3	5	6	6,69	OK
	10:30		Bueno	3,61	4	30	1,72					6,5	OK
	Fin d Produ		Malo	3,64	5	33	1,39					6,88	OK
	Mesa1 P2		Bueno	3,64	5	30	1,34					4,41	NOK
	Mesa2 P2		Bueno	3,55	4	28	2					6,13	OK
4	10:30	1,47-2	Bueno	3,61	4	34	2,17	4	3	6	6	7,81	OK
	10:30		Bueno	3,61	6	28	1,34					5,15	NOK
	Fin d Produ		Bueno	3,55	4	31	2,05					7,01	OK
	Mesa1 P2		Malo	3,58	7	30	1,03					5,59	OK
	Mesa2 P2		Bueno	3,58	5	28	1,51					5,83	OK
5	10:30		Malo	3,46	4	35	1,79	4	3	6	6	6,65	OK
	10:30		Bueno	3,58	6	29	1,26					3,88	NOK
	Fin d Produ		Malo	3,61	4	32	2,03					7,22	OK
	Mesa1 P2		Malo	3,61	7	33	0,97					6,64	OK
	Mesa2 P2		Bueno	3,61	4	32	1,22					6,77	OK
6	10:30		Bueno	3,52	5	35	1,65	5	3	9	6	Colado	OK
	10:30		Malo	3,64	9	32	0,62					2,47	NOK
	Fin d Produ		Bueno	3,67	5	32	1,51					Colado	OK
	Mesa1 P2		Malo	3,61	6	33	1,11					Colado	OK
	Mesa2 P2		Malo	3,64	5	35	1,38					5,89	OK

Tabela de ajuste de parâmetros dos Ultra-sons

E\_M -11/03/2008

Vista previa: página 1 de 1

NUM

Figura 53- Tabela de cruzamento de resultados entre o ensaio destrutivo e o ensaio não destrutivo.

A variação existente entre os resultados será minimizada através da alteração de um ou de vários parâmetros. Esta informação alterável está disponível no menu **SWD Settings**, do programa fornecido pela ScanMaster.

Assim, os ajustes que podemos efectuar no programa estão relacionados com os seguintes parâmetros:

- **Nível de Atenuação**

O nível de atenuação está relacionado com a dissipação do sinal transmitido, sendo visível pela diminuição da altura dos picos obtidos.

Este parâmetro, normalmente e por defeito encontra-se desactivado. Contudo, caso se verifique que a partir de um determinado nível de atenuação se esteja perante uma situação de defeito, este parâmetro poderá ser activado para delimitar um sinal bom de um mau.

Por outro lado, também é necessário definir em qual das situações se está perante um sinal bom. Quando se definir o nível de atenuação tem-se que esclarecer em

que situação é que se considera um ponto bom, se acima da atenuação definida ou abaixo da mesma.

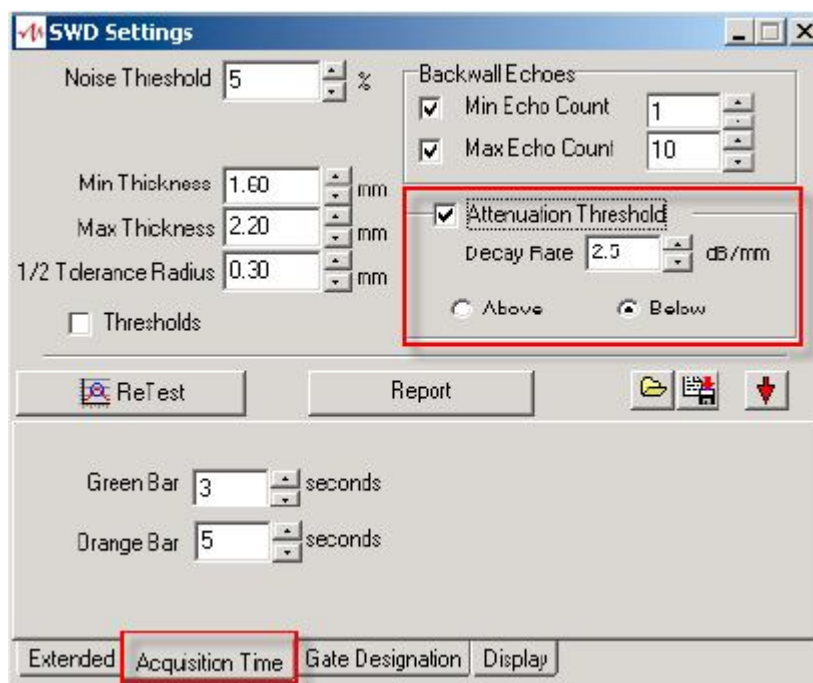


Figura 54 – Janela SWD Settings, onde se encontra assinalada a zona onde ajustar o limite da atenuação.

- **Controlo do número de Ecos.**

Quando se fala de eco está-se a referir a um sinal que é reflectido quando encontrada uma descontinuidade. Neste caso em concreto, essa descontinuidade é a face oposta da peça.

Neste parâmetro pode-se ajustar o número máximo e mínimo de ecos presentes no sinal captado. Este parâmetro é ajustado na zona contornada pelo quadrado a vermelho.

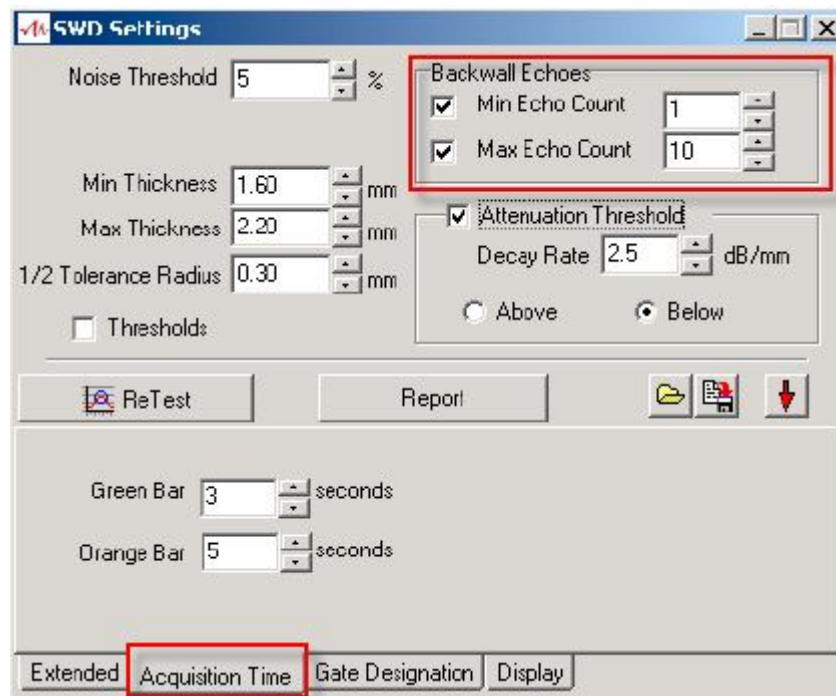


Figura 55 - Janela SWD Settings, onde se encontra assinalada a zona onde ajustar número de ecos aceitáveis.

Todas as medições com o número de ecos compreendidos entre o limite mínimo e máximo são considerados pontos bons. Caso contrário, o resultado será defeituoso, o que se traduz num ponto defeituoso.

- **Alteração da espessura do ponto.**

O ponto de soldadura ideal para espessura total deveria ser igual à soma entre as várias espessuras a unir. Contudo, esse resultado varia ao longo da soldadura o que leva a ter que possuir um determinado intervalo definido.

Esse intervalo é definido através de dois limites, um mínimo e um máximo, os quais vão ditar qual o intervalo em que a espessura do ponto se tem de situar.



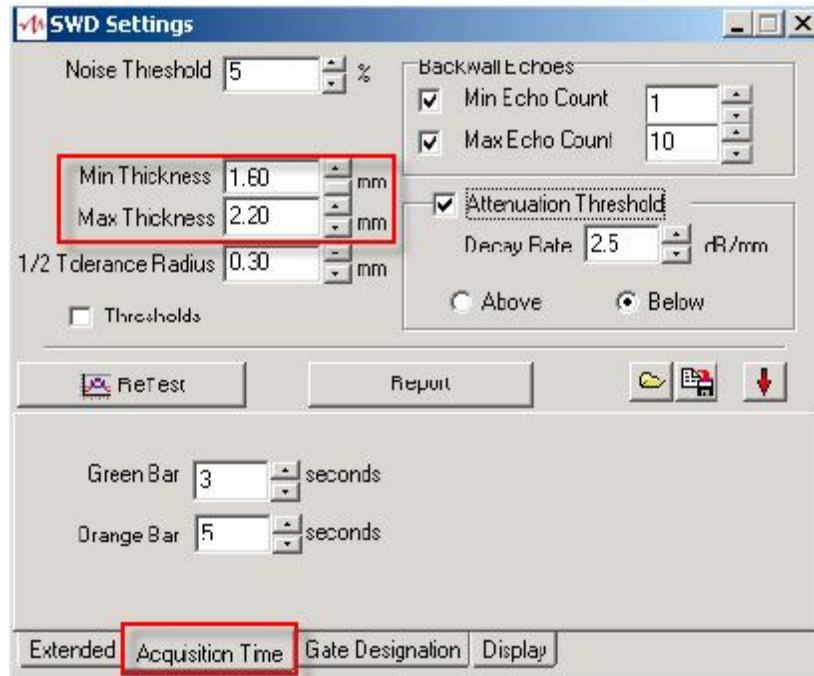


Figura 56 - Janela SWD Settings, onde se encontra assinalada a zona onde ajustar a espessura das chapas.

Por norma os limites são definidos pelas seguintes expressões:

- Limite inferior (espessura mínima):

$$\text{Min Thickness} = 0,75 \times \text{Total Thickness}$$

- Limite superior (espessura máxima):

$$\text{Max Thickness} = 1,1 \times \text{Total Thickness}$$

Contudo, estes intervalos poderão ser reduzidos ou ampliados se houver alguma justificação plausível.

Pode-se concluir que neste caso só serão aceites como bons os pontos que possuam espessuras que se situem no intervalo referido anteriormente.

- **Linhas de ruído**

As linhas de ruído são fundamentais para diferenciar os tipos de picos existentes entre os ecos principais. Assim, os dois tipos de linhas de ruído existentes no programa são:

- “Noise Threshold” ou linha de ruído.



Esta linha tem como função diferenciar o ruído dos restantes picos. Assim, todos os picos que ultrapassem esta linha deixam de ser considerados ruído.

- “*Center Peak Tolerance*” ou picos centrais.

Esta linha é responsável por efectuar a separação entre os picos centrais e os picos secundários. Daí que qualquer pico que passe esta linha é considerado pico central, excepto os picos equivalentes à espessura total das chapas a considerar.

Por outro lado, este tipo de linha ainda se encontra subdividido em *Undersize* e *Discrepant*.

Estes tipos de linhas são definidos a partir de uma percentagem de amplitude, as quais vão variar dependendo do programa.

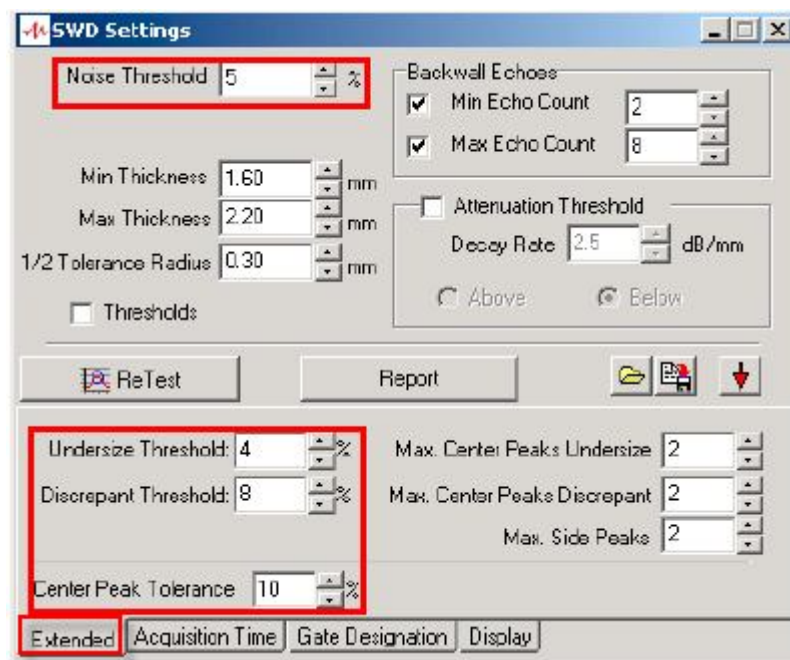


Figura 57- Janela SWD Settings, onde se encontra assinalada a zona onde ajustar as linhas de ruído.

O recurso as este parâmetro, serve para o programador alterar os níveis das linhas para diminuir ou aumentar o ruído do sinal.

- **Nº de picos entre ecos.**

Para além dos ecos principais, normalmente assinalados com uma cruz verde, existem outros dois tipos de ecos.

- *Centrar Peaks* ou picos centrais.

Estes picos são os que ultrapassam a linha *Center Peak Tolerance* e se encontram espaçados pela espessura da primeira chapa. Eles normalmente são assinalados com uma cruz azul.

- *Side Peaks* ou picos secundários.

Estes picos são definidos por passarem a linha de ruído e se encontrarem fora de qualquer espessura previamente definida. Estes picos costumam ser assinalados por uma cruz vermelha.

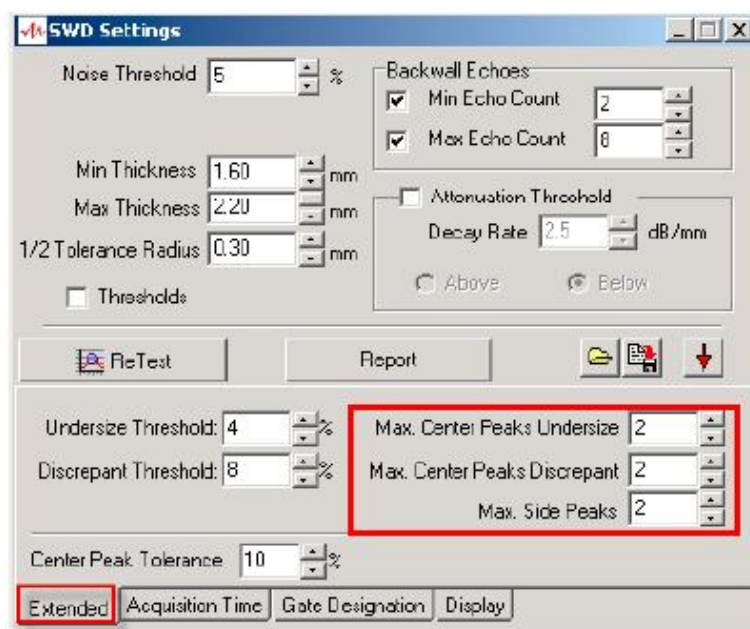


Figura 58 - Janela SWD Settings, onde se encontra assinalada a zona onde ajustar o numero de picos.

- **Largura dos ecos.**

Nesta área faz-se o ajuste da largura dos ecos principais. Onde por defeito o programa tem como definido, que todos os picos que se encontrem a 0,30 mm do pico principal serão considerados como ecos principais. Apesar de existirem outros ecos principais nessa mesma faixa, só será assinalado o eco com maior amplitude. O ajuste possível está relacionado com essa mesma faixa, contudo caso ela seja reduzida poder-se-á estar a induzir ruído ao sinal obtido.

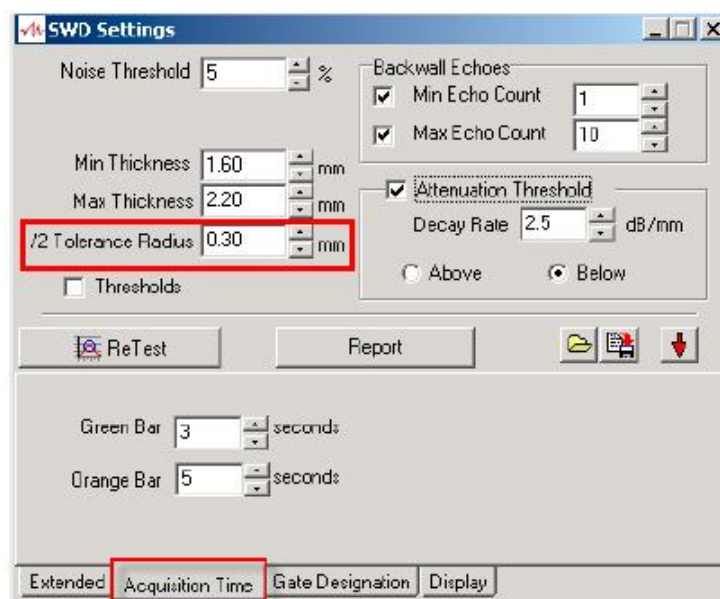


Figura 59 - Janela SWD Settings, onde se encontra assinalada a zona onde ajustar a largura do pico.

## 6.6 Atualização da tabela de frequência de controlo de estampagem e elaboração da tabela de frequência de controlo de soldadura.

As tabelas de frequências de controlo são uma ferramenta fundamental para os responsáveis de projecto. Elas efectuam o cálculo da frequência de controlo das peças a produzir. Garantindo com êxito, que o processo se encontra controlado, salvaguardando tanto a empresa como o cliente.

A actualização da tabela de frequência de controlo de estampagem consistiu no reajuste dos parâmetros em jogo, bem como a reorganização do peso de cada uma das partes.

GESTAMP PORTUGAL		Tabela de frequência de controlo de Estampação	
		Peça	9463088380 - OP20
Cadência (golpes/hora)	1203	Ferramenta	
Unidade de carga	600	Sensor de passo/avango (não-0: sim ou ferramenta manual?)	
Tipo de embalagem (contêiner-0; bacia-1)	0	Guiamento	
Peças por golpe	1	0 → Sem guiamento	
Peça S/R (não-0: sim-1)	0	1 → Guia até ao final da ferramenta	
Peças aninhadas (não-0: sim-1)	1	2 → Guia lateralmente	
		3 → Ambos ou ferramenta manual	
Complexidade da peça/chapa		Sensor de detecção de componentes/furos	
Chapa (alto limite elástico) (não-0: sim-1)		(não-0: sim ou não aplicável-1)	
Embutido (não-0: sim-1)		Posicionamento para a peça (não-0: sim-1)	
0 → Peça plana		Capacidade do processo	
1 → Embutido pequeno		<1,00 (não-0: sim-1)	
2 → Embutido médio		Peça com problemas potenciais	
3 → Embutido grande		Furos problemáticos (não-0: sim-1)	
Furos problemáticos (não-0: sim-1)		0	
Peça c/ corte inclinado (não-0: sim-1)		0	
Peça c/ componentes encastrados (não-0: sim-1)		0	
Detecção em operações posteriores		Frequência de controle calculada (peças/golpe)	
Presença/ Posição dos furos		1 / 1200	
0 → Não tem		Tempo médio calculado	
1 → Parcial		60 min	
2 → Total ou não aplicável		Frequência de controle real (peças/golpe)	
Presença/ Posição dos componentes		1 / 1045	
0 → Não tem		Tempo médio real	
1 → Parcial		52 min	
2 → Total ou não aplicável			
Conformidade da geometria (não-0: sim-1)			
0			
Observações:			
Frequência de controle alterada (peças/golpe)			
1 /			

Figura 60- Imagem da tabela de frequências de controlo de estampagem.

A elaboração da tabela de frequência de controlo de soldadura, teve por base a tabela que existia para a estampagem. Contudo, foi necessário identificar os parâmetros mais importantes para a frequência. O que exigiu o conhecimento do processo de soldadura, bem como o funcionamento de todas as máquinas existentes na área fabril.


<div>  <div> <b>Frequência de controlo</b>  <b>Peça 9463088380 - OPS20</b> </div> </div>													
Ordem de (opções)	1000												
Unidade de carga	20												
Tipo de embalagem (0=auto-0 base-1)	1												
Peça por peça	1												
Peça SR (não-0 sim-1)	0												
Peça afluência (não-0 sim-1)	0												
<b>PARÂMETROS GERAIS</b> Modo de introdução de parâmetros: 0 Manual 1 Automático													
Soldado a manual (não-0 sim-1)	0												
Controlo dos parâmetros automáticos (não-0 sim-1)	0												
Ferramenta específica (não-0 sim-1)	1												
Estabelecida troca de electrodo/rota (não-0 sim-1)	1												
Presença Posição dos componentes	2												
0 Não Tem													
1 Parcial													
2 Total													
Conformidade da geometria (não-0 sim-1)	0												
Peça com problemas potenciais	2												
0 Geometria													
1 Presença de componente													
2 Resistência de soldadura													
3 Não Tem													
<b>SOLDADURA POR PONTO S (não-0 sim-1)</b>	0												
Garantia de posição de ponto	2												
0 Não Tem													
1 Robot													
2 Posição guia													
<b>SOLDADURA MIG/MAG (não-0 sim-1)</b>	0												
Deteção Posição	2												
0 Controlo Unitário pelo operador													
1 Pick & Place para Componentes													
2 Visão Artificial													
Proteção de componentes (opções) (não-0 sim-1)	1												
Processo capaz (repetitivo)	2												
0 Posição 2 Similidade													
1 Aspecto													
<b>SOLDADURA DE COMPONENTES POR RESISTÊNCIA</b> Deteção Posição/Presença: 0 Laser 1 Detector mecânico 2 Visão Artificial 3 Não Aplicável													
<b>FORÇA S (não-0 sim-1)</b>	0												
Proteção de Componentes (não-0 sim-1)	1												
Alimentação Automática (não-0 sim-1)	1												
Garantia após soldadura (não-0 sim-1)	1												
Soldadura de vários componentes na mesma operação (não-0 sim-1)	1												
<b>PARA FUSOS (não-0 sim-1)</b>	1												
Proteção de Componentes (não-0 sim-1)	1												
Alimentação Automática (não-0 sim-1)	0												
Garantia após soldadura (não-0 sim-1)	1												
Soldadura de vários componentes na mesma operação (não-0 sim-1)	0												
Electrodo inferior específico para a deteção de comprimento excessivo (não-0 sim-1)	1												
<b>ENTRETROSE (não-0 sim-1)</b>	0												
Proteção de Componentes (não-0 sim-1)	1												
Alimentação Automática (não-0 sim-1)	1												
Garantia após soldadura (não-0 sim-1)	1												
Soldadura de vários componentes na mesma operação (não-0 sim-1)	1												
Electrodo inferior específico para a deteção de comprimento excessivo (não-0 sim-1)	1												
Deteção de componente correto diâmetro (não-0 sim-1)	1												
<table border="1"> <tr> <td><b>Frequência de controlo</b> calculo arredondado (peças/golpe)</td> <td>1 / 1400</td> </tr> <tr> <td><b>Tempo médio</b> calculo arredondado</td> <td>84 min</td> </tr> <tr> <td><b>Frequência de controlo</b> calculo real (peças/golpe)</td> <td>1 / 1395</td> </tr> <tr> <td><b>Tempo médio</b> calculo real</td> <td>84 min</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Observações</td> </tr> <tr> <td><b>Frequência de controlo</b> alterada manualmente (peças/golpe)</td> <td>1 /</td> </tr> </table>		<b>Frequência de controlo</b> calculo arredondado (peças/golpe)	1 / 1400	<b>Tempo médio</b> calculo arredondado	84 min	<b>Frequência de controlo</b> calculo real (peças/golpe)	1 / 1395	<b>Tempo médio</b> calculo real	84 min	Observações		<b>Frequência de controlo</b> alterada manualmente (peças/golpe)	1 /
<b>Frequência de controlo</b> calculo arredondado (peças/golpe)	1 / 1400												
<b>Tempo médio</b> calculo arredondado	84 min												
<b>Frequência de controlo</b> calculo real (peças/golpe)	1 / 1395												
<b>Tempo médio</b> calculo real	84 min												
Observações													
<b>Frequência de controlo</b> alterada manualmente (peças/golpe)	1 /												

Tabela de Frequência de controlo de soldadura\_A\_25-05-2005

Figura 61- Imagem da tabela de frequência de controlo da soldadura.

As tabelas de calculo da frequência de controlo para ambos os casos encontra-se nos anexos J e K.

## 7. Discussão de Resultados

Esta secção tem como intuito a apresentação e discussão de todos os resultados obtidos ao longo do estágio. Na implementação do aparelho de ultra-sons foram obtidos dois tipos de resultados, os gráficos relacionados com as medições efectuadas, e um estudo sobre os custos e tempo de amortização do equipamento.

### 7.1 Gráficos mensais.

Os gráficos mensais têm como função manter um seguimento contínuo do aparelho de ultra-sons. Por outro lado, eles também fornecem informações sobre a evolução das medições e da fiabilidade dos programas. Assim temos os seguintes gráficos.

- Número de medições efectuadas ao longo de todo ano

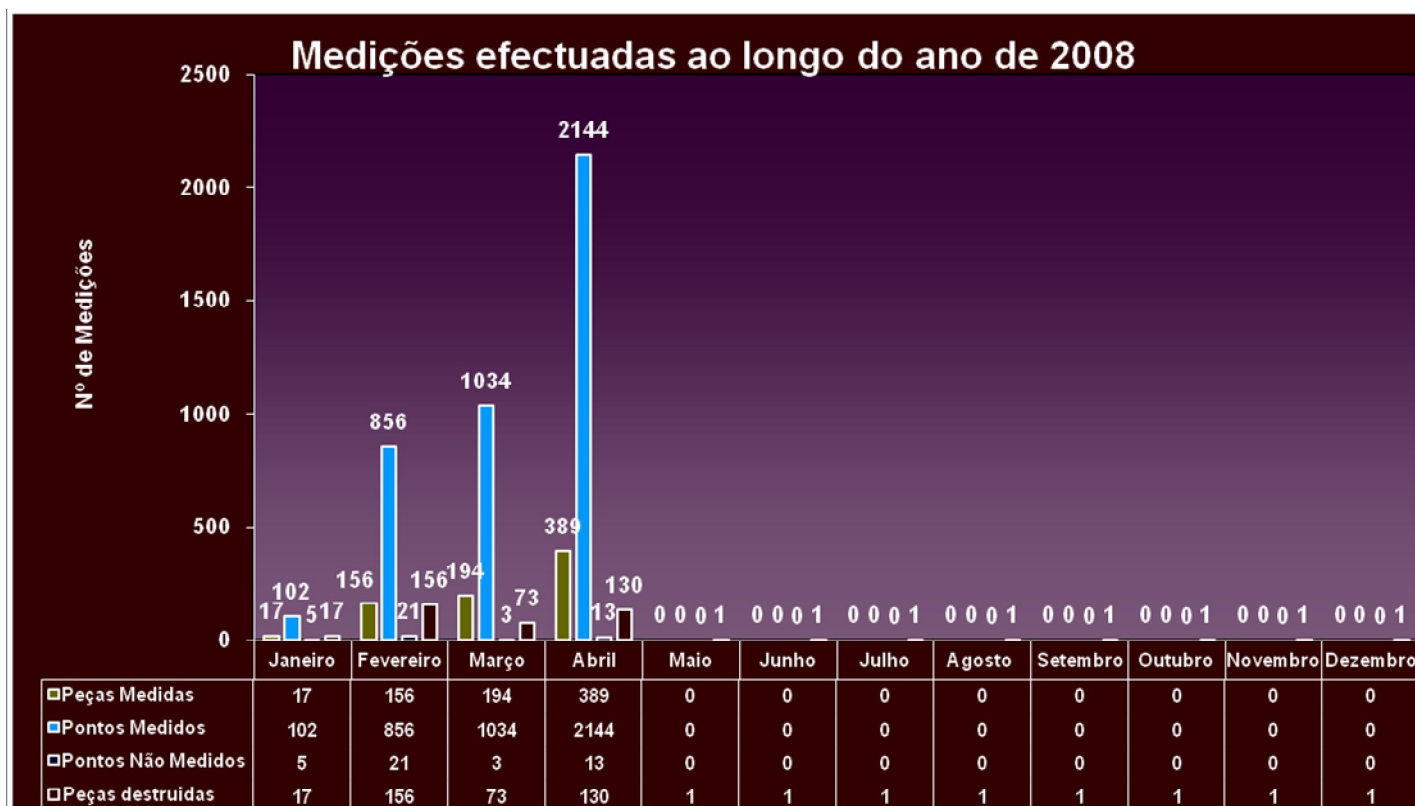


Figura 62 – Gráfico das medições efectuadas ao longo do ano de 2008.

Numa primeira observação do gráfico podemos verificar que se possui quatro tipos de colunas diferentes. Contudo existe uma relação directa pelo menos nas três primeiras (Peças Medidas, Pontos Medidos, Pontos Não Medidos).

Efectuando uma leitura rápida verifica-se que tanto as medições como as peças destruídas têm aumentado ao longo dos quatro meses apresentados. Porém, a maioria das medições dizem respeito a peças utilizadas para ajustes do programa.

A coluna das peças medidas segue um crescimento quase exponencial. Todavia, este crescimento não demonstra a realidade das medições. Muito devido a que nos dois primeiros meses, foi iniciada a programação das referências a controlar e efectuado o primeiro ajuste dos programas. Nos meses seguintes, já com a presença dos controladores, as medições cresceram devido a que no ajuste de cada referência, a peça era medida três vezes. Por outro lado, o crescimento das medições efectuadas também é devido ao início do acompanhamento da produção de algumas referências já programadas.

Existindo uma grande variedade no número de pontos de soldadura por peça, desde dois pontos até aos dezasseis, a evolução dos pontos medidos e não medidos vão depender directamente do tipo de peças medidas. Dai que se possa concluir que as peças medidas nos últimos meses sejam peças com maior número de pontos.

No que diz respeito às peças destruídas, elas maioritariamente são peças utilizadas para ajuste de programa. No entanto, algumas dessas peças poderão estar relacionadas com o acompanhamento de produção, porque caso apareça uma peça defeituosa esta será destruída para verificar a validade da medição.

- **Fiabilidade do Aparelho.**

O gráfico da fiabilidade do aparelho tem como função demonstrar e controlar a evolução da validade das medições ao longo de todo o ano. O cálculo da fiabilidade tem como base as peças destruídas. Contudo antes de efectuar o ensaio de arrancamento, as peças são controladas com os ultra-sons para se poder comparar os resultados obtidos por ambos os ensaios.

Assim a fiabilidade tem como base a seguinte expressão:

$$Fiabilidade\ do\ aparelho = média \left( \frac{\sum (Pontos\ Destruídos - Pontos\ Errados)}{\sum Pontos\ Destruídos} \right)$$

Juntando as fiabilidades mensais num só gráfico podemos definir a seguinte recta:

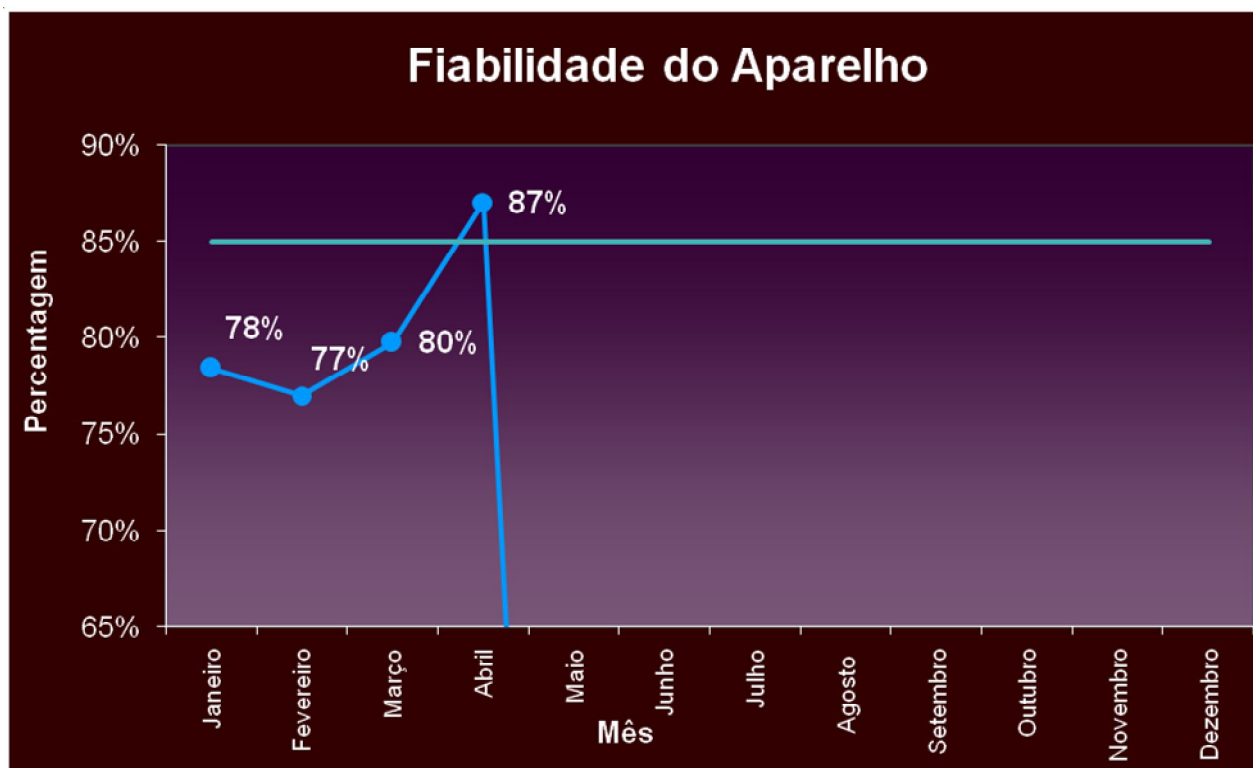


Figura 63- Evolução da fiabilidade mensal do aparelho.

Analisando o gráfico da fiabilidade, verifica-se que esta tem tendência a aumentar, superando no quarto mês os 85%.

No mês de Janeiro consegue-se concluir que já quando da programação das referências se obtêm uma fiabilidade de cerca de 78%. Com o passar dos meses, e com os sucessivos ajustes efectuados atinge-se uma fiabilidade de 87%. Tendo em conta a fiabilidade inicial, é possível elevar esse mesmo valor até aos 90%. Contudo, e como a quando da implementação ainda não se tinha terminado o ajuste dos programas, definiu-se como fiabilidade mínima os **85%**.

Porém ainda há referências que se encontram abaixo do mínimo de fiabilidade exigido. Dai que seja possível obter uma fiabilidade superior aos 90%.



- **Fiabilidade projectos.**

Para uma análise mais detalhada, foram efectuados gráficos da fiabilidade das medições por projecto. Isto porque não faria muito sentido efectuar um gráfico para cada referência, o que tornaria elevado o número de gráficos a efectuar.

Tal como acontece para a fiabilidade geral, todos os gráficos possuem um limite inferior de fiabilidade. Este limite é idêntico ao do gráfico da fiabilidade do aparelho, isto porque o limite da fiabilidade dos projectos depende da fiabilidade do aparelho.

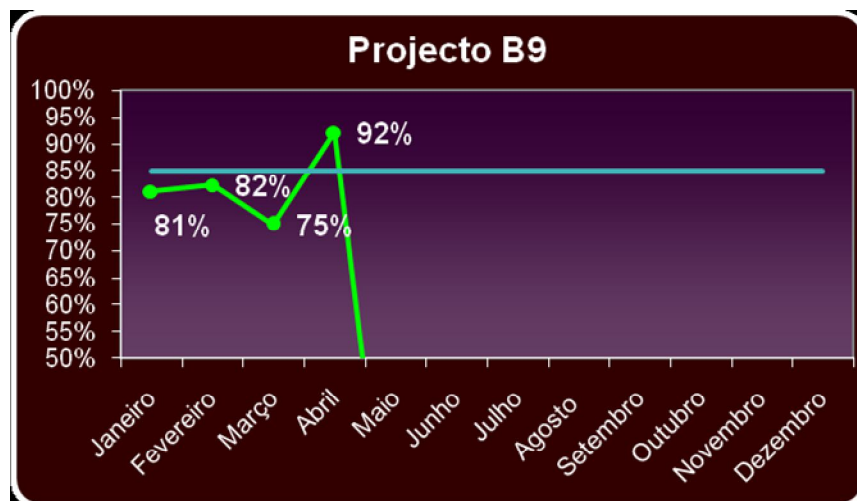


Figura 64 - Gráfico sobre a fiabilidade dos programas das referências que dizem respeito ao projecto B9.

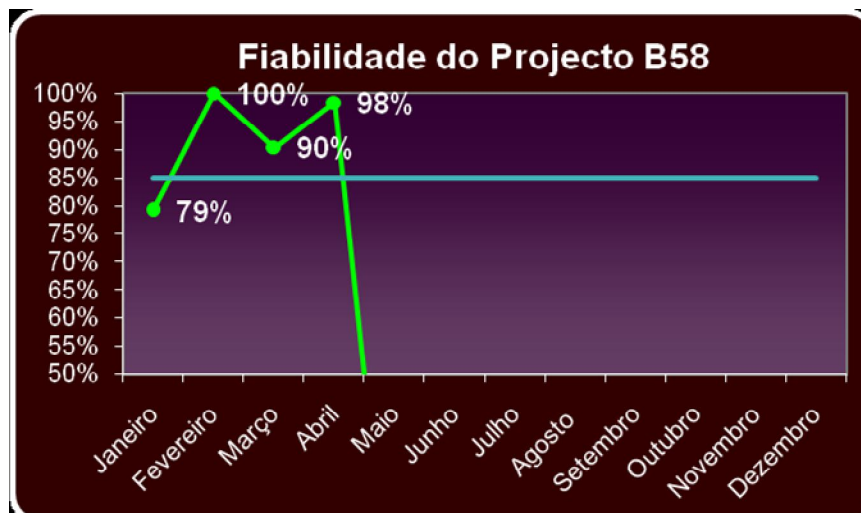


Figura 65- Gráfico sobre a fiabilidade dos programas das referências que dizem respeito ao projecto B58.

Observando os dois gráficos acima, verifica-se que é possível obter uma fiabilidade bastante elevada, podendo chegar até muito perto dos 100%. Apesar disso, e analisando a evolução da fiabilidade desde Janeiro, conclui-se que para estes dois

projectos referidos, B9 e B58, com os sucessivos ajustes a fiabilidade do programa tem tendência a aumentar.

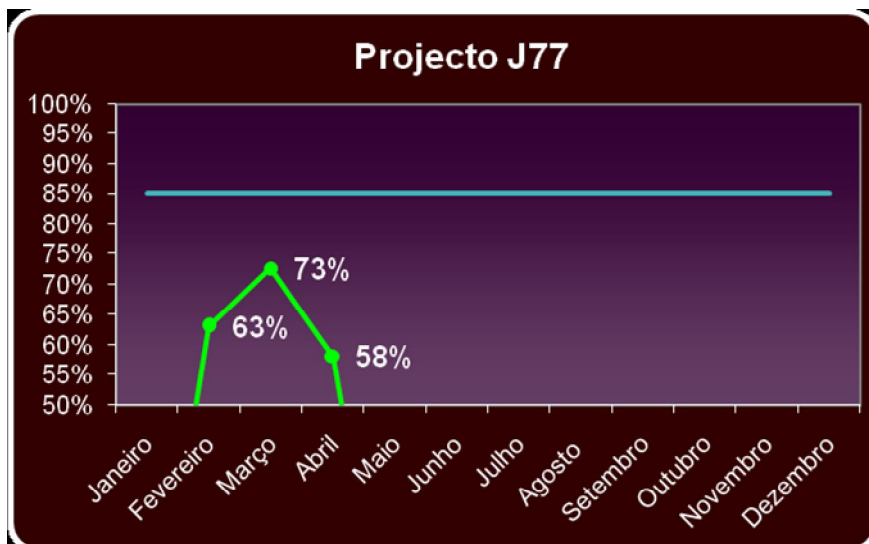


Figura 66- Gráfico da fiabilidade das medições do projecto J77.

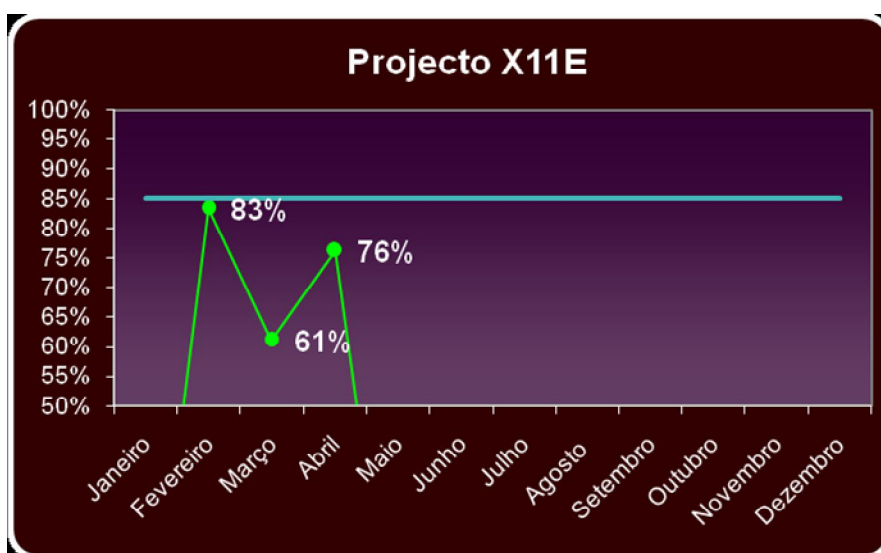


Figura 67- Gráfico da fiabilidade das medições do projecto X11E.

Contudo, nem todos os ajustes favorecem o aumento da fiabilidade das medições. Observando os dois gráficos anteriores, ilustração 72 e 73, verifica-se que com os sucessivos ajustes a fiabilidade diminuiu. Essa diminuição está relacionada com as elevadas restrições existente nos programas e com o elevado número de pontos por peça, o que vão condicionar os ajustes efectuados.

## 7.2 Análise do nível de substituição.

Nesta secção vai ser apresentado um estudo sobre a relação entre o nível de implementação e os seus custos associados. Para que este tipo de ensaio possua impacto no número de peças destruídas, também será estudada a viabilidade de contratar vários colaboradores para efectuar os ensaios.

Assim, e para simplificação dos cálculos efectuaram-se as seguintes simplificações:

- A produção é homogénea ao longo de todo o ano;
- Custos iniciais (aparelho, banca, peças destruídas para ajuste) de 38000€;
- Os seis primeiros meses a redução do número de peças destruídas ser de 60%;
- O custo de destruição é calculado a partir de duas parcelas. Pelo custo da peça destruída e pelo custo do tempo que o operário leva a destruir a peça.

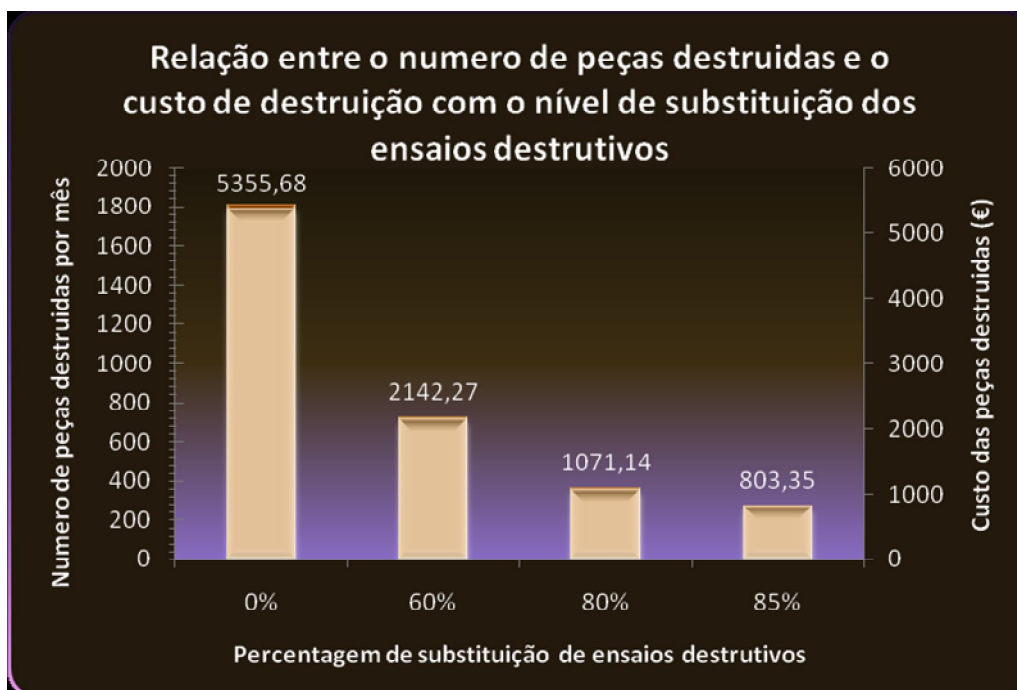
Começando por fazer um estudo da relação entre peças destruídas e custos associados para diferentes níveis de redução de peças destruídas, obtêm-se a seguinte tabela.

Percentagem de substituição	Nº de peças destruídas	Custos de destruição (€)
<b>0%</b>	1806	5355,68
<b>60%</b>	722	2142,27
<b>80%</b>	361	1071,14
<b>85%</b>	271	803,35

**Tabela 7 – Tabela referente aos custos e número de peças relacionados com os diferentes níveis de substituição dos ensaios destrutivos.**

Os custos das peças destruídas para os níveis referidos são calculados a partir dos anexos L, M e N.

Resumindo a informação contida na tabela num só gráfico obtêm-se:



**Figura 68 – Gráfico sobre a relação entre as peças destruídas e seus custos associados para vários níveis de substituição dos ensaios destrutivos.**

Numa primeira observação verifica-se que os custos e o número de peças destruídas diminuem com o aumento do nível de substituição.

Assim, antes de se implementar o sistema de ultra-sons o nível de substituição das peças destruídas é de 0%. O implica uns custos agregados à destruição das 1806 peças destruídas por mês e cerca de 5356€. Para uma substituição de cerca de 60%, tanto o número de peças como os custos associados são reduzidos para menos de metade o que significa uma redução de quase 1100 peças e de 3200€ de custos.

Os restantes valores do nível de substituições estão relacionados com a fiabilidade do aparelho. Visto que o aparelho no final do mês de Abril possuía uma fiabilidade de 87%, e como não faz sentido efectuar uma substituição acima da fiabilidade que possuímos efectuou-se o estudo para o nível de substituição de 80% e 85%.

No que se refere ao número de peças destruídas se for considerado como referência um nível de substituição de 0% verifica-se uma redução de cerca de 1450 peças para o caso da substituição de 80% e de 1530 peças para o de 85%. Efectuando o mesmo mas para os custos de destruição, observa-se uma redução de 4300€ para 80% de substituição e de 4450€ para o caso de 85%. Considerando só estas duas variantes e

admitindo como fiabilidade máxima do aparelho os 87%, o melhor nível de substituição seria o de 85%.

Comparando os dois níveis de substituição em termos da amortização do investimento obtêm-se as seguintes evoluções da amortização do aparelho. Os gráficos que se seguem têm como base as tabelas do anexo O.

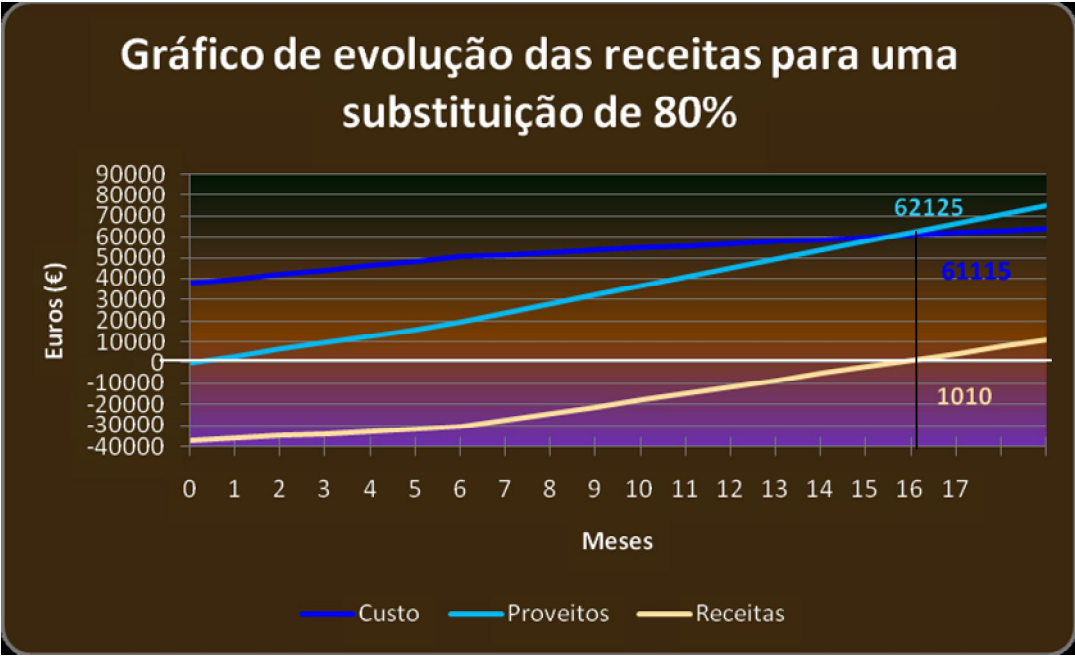


Figura 69- Gráfico da evolução das receitas para um grau de substituição de 80%.

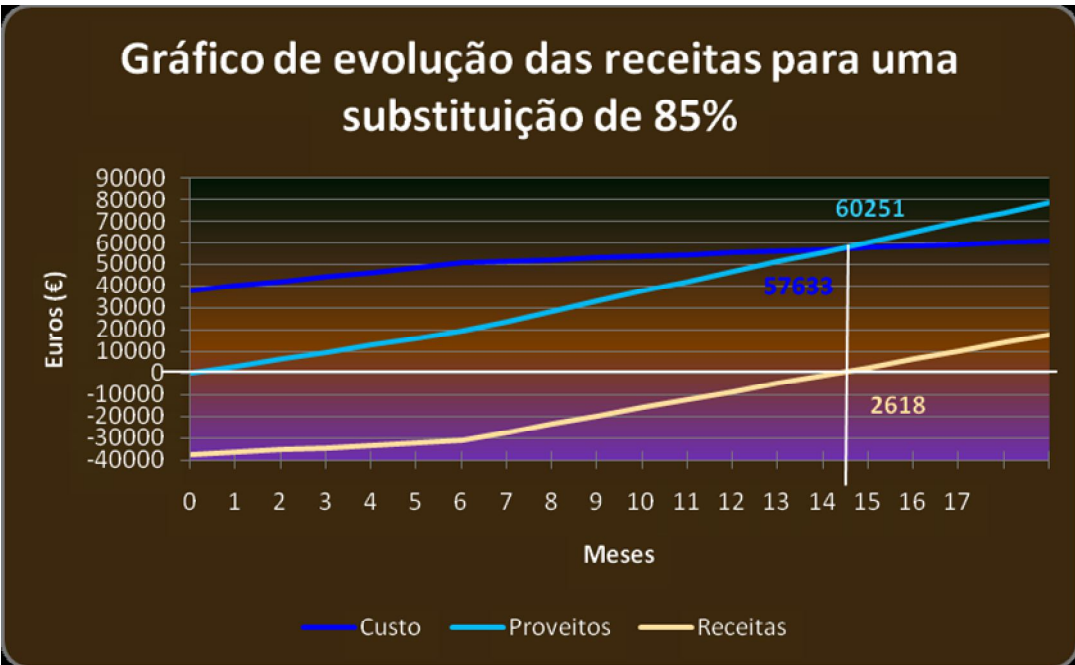


Figura 70- Gráfico da evolução das receitas para um grau de substituição de 85%.

Efectuando uma pequena análise dos dois gráficos anteriores, pode-se verificar que ambos gráficos são semelhantes.

Nos seis primeiros meses a evolução dos gráficos de amortização é idêntica, devido à imposição inicial do nível de substituição. Assim para esses seis meses o nível de implementação foi de 60%.

Como o objectivo é amortizar o equipamento o mais rápido possível, resultados dado pelo momento em que a curva das receitas é nula. Com um nível de implementação de 85% consegue-se efectuar a amortização do aparelho em 14 meses. Por outro lado, com um nível de substituição de 80%, a amortização passa ser efectuada em 16 meses. Assim pode-se concluir que um nível de substituição de 85% amortiza-se o investimento mais cedo dois meses que no caso de um nível de substituição de 80%.

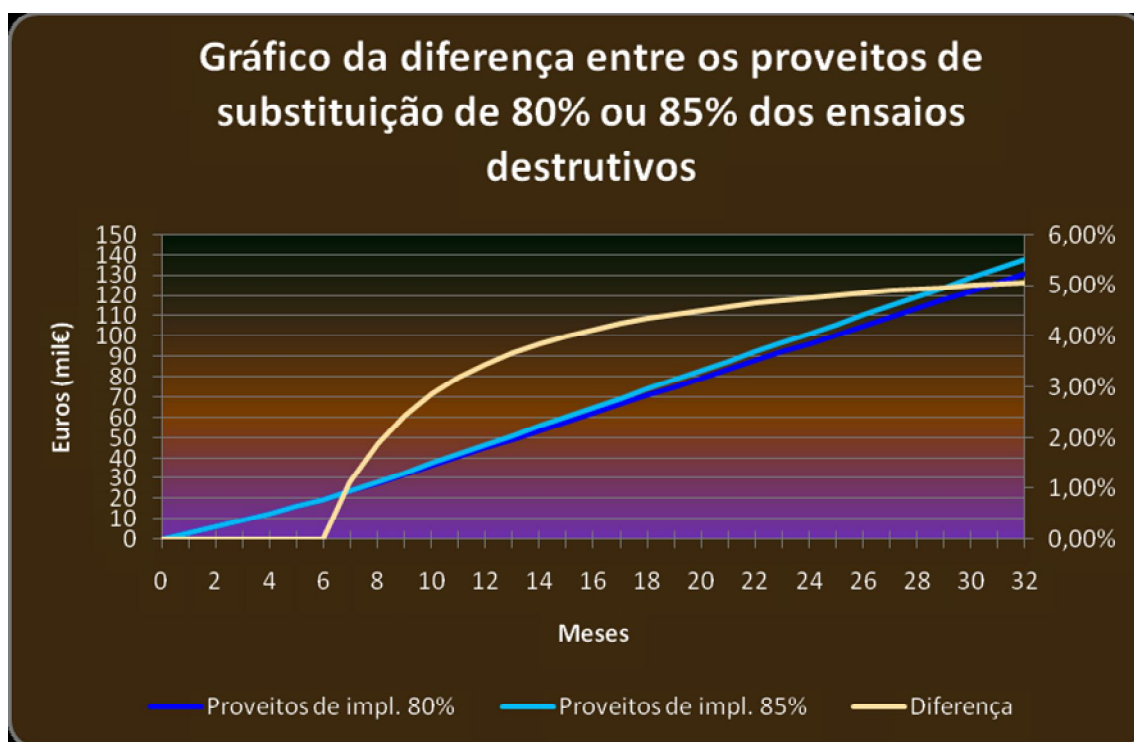


Figura 71- Gráfico de comparação das curvas dos proveitos para os níveis de substituição de 80 e 85%.

Observando as duas linhas de proveitos verifica-se que num curto prazo ambas são idênticas. Contudo com o passar dos meses começa-se a verificar uma diferença entre ambas.

Olhando agora para a curva da diferença verifica-se que nos seis primeiros meses a diferença é nula, devido a condição inicial de substituição. A partir do sexto

mês a diferença adopta um crescimento exponencial que com o passar dos meses tende a estabilizar por volta dos 5%.

Assim podemos concluir que a longo prazo os proveitos para um a substituição de 85% vão ser superiores 5% que para o caso de uma substituição de 80%.

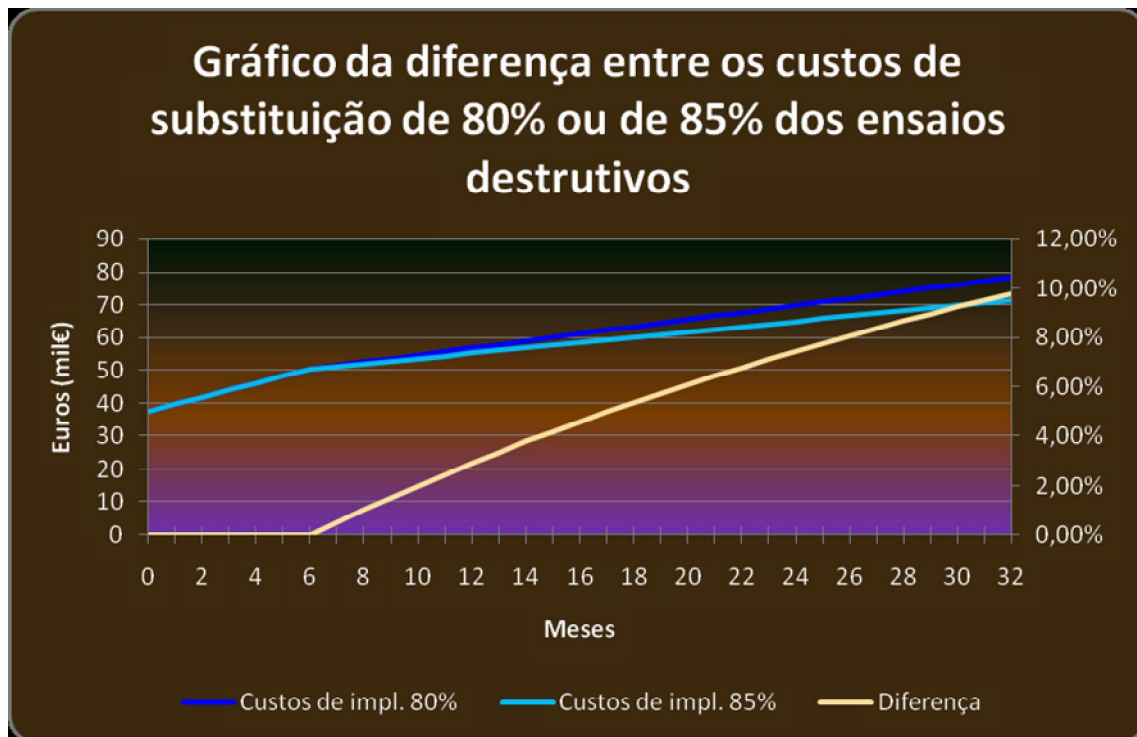


Figura 72- Gráfico de comparação das curvas dos custos para os níveis de substituição de 80 e 85%.

Tal como acontecia no gráfico dos proveitos, o dos custos apresenta uma diferença nula para os seis primeiros meses. Contudo nos meses seguintes a diferença entre os custos vai aumentando de uma forma linear, sendo os custos de uma substituição de 85% são inferiores cerca de 10% ao final de 32 meses de implementação.

Daqui conclui-se que numa substituição dos ensaios destrutivos de 85% se obtêm a longo prazo proveitos superior e custos inferiores a uma substituição de 80%. Dai que o melhor nível de substituição é o de 85%.



### 7.3 Análise dos custos relacionados com a contratação de vários colaboradores.

Nesta secção do trabalho realiza-se um estudo sobre o número ideal de pessoas a contratar após a implementação dos ultra-sons.

Para que o estudo fosse o mais próximo do real foram consideradas as seguintes ponderações:

- A produção é homogénea ao longo de todo o ano;
- Custos iniciais (aparelho, banca, peças destruídas) de 38000€
- Nos seis primeiros meses a redução do número de peças destruídas ser de 60%;
- O custo de destruição é calculado a partir de duas parcelas. Pelo custo da peça destruída e pelo custo do tempo que o operário leva a destruir a peça;
- O nível de substituição dos ensaios destrutivos é de 85% para os meses seguintes;
- A contratação de cada colaborador implica um aumento nos custos mensais de 700€
- Tanto o turno A como o B representam 36% da produção total da empresa. O turno C representa 28% da produção total.

Quando se refere ao caso de contratação de colaboradores podemos definir quatro situações:

- **Sem Ultra-sons.** Situação onde não é implementado o ensaio não destrutivo em causa.
- **Um por turno.** Contratar um colaborador para cada turno que é destinado a efectuar os ensaios de ultra-sons.
- **Excepto no turno de menor produção.** Colocar um colaborador no Turno A e outro no Turno B só a efectuar os ensaios não destrutivos.
- **Um no Turno Intermédio.** Só seriam controladas por ultra-sons as peças produzidas durante o tempo do turno intermédio. Esta situação implica a contratação de um único colaborador.



Todos os custos e peças destruídas para cada uma das situações estão representados na tabela que se segue.

Nº de Colaboradores	Turno A (36%)		Turno B (36%)		Turno C (28%)		Turno Intermédio		Total	
	Custos (€/mês)	Peças Destruidas (peças/mês)	Custos (€/mês)	Peças Destruidas (peças/mês)	Custos (€/mês)	Peças Destruidas (peças/mês)	Custos (€/mês)	Peças Destruidas (peças/mês)	Custos (€/mês)	Peças Destruidas (peças/mês)
<b>Sem Ultra-sons</b>	1928,05	677	1928,05	677	1499,59	452	---	---	5355,69	1806
<b>Um por turno</b>	989,21	98	989,21	98	924	76	---	---	2902,42	272
<b>Excepto no turno de menor produção</b>	989,21	98	989,21	98	1499,59	452	---	---	3478,01	648
<b>Um no turno intermédio</b>	144,9	49	114,9	49	1499,59	452	1001,25	98	2790,04	648

**Tabela 8- Tabela referente ao estudo efectuado para o número ideal de colaboradores necessários para a implementação.**

Numa primeira análise verifica-se que a situação que mais barata é a de colocar uma pessoa no turno intermédio com custos no valor de 2790,04 €/mês. Contudo esta situação implicaria a destruição de 648 peças/mês.

Por outro lado, caso a análise for feita em termos de peças destruídas/mês, a situação mais favorável seria colocar um colaborador por turno visto só serem destruídas 272 peças/mês. Esta opção implica uns custos de 2902,42 €/mês.

Para uma melhor percepção dos valores da tabela anterior, eles encontram-se numa forma mais simples de leitura no gráfico que se segue.

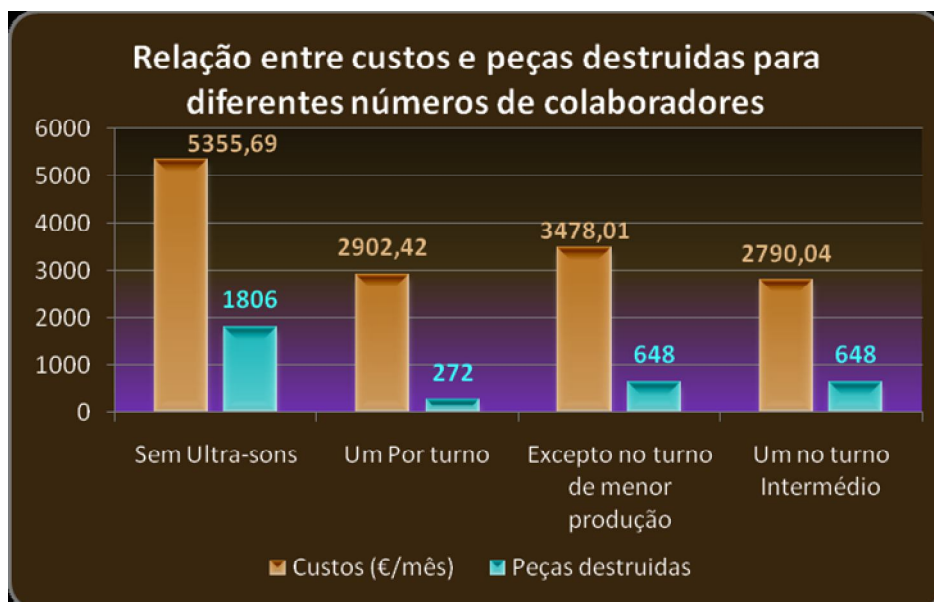


Figura 73 - Gráfico sobre o total dos custos e das peças destruídas por mês para as três situações de implementação e um nível de substituição de 85%.

Olhando para o gráfico conclui-se que colocar uma pessoa em cada turno, excepto no de menor produção, é a pior opção a seguir. Isto porque é o que apresenta maiores custos mensais (3478,01€/mês), e o maior número de peças destruídas (648 peças/mês).

Em termos de custos mensais, a melhor das situações é a de um colaborador em turno intermédio. Isto por ser o que apresentar custos mensais de 2790,04 € Contudo, se a análise for feita em termos de peças destruídas por mês o cenário já é diferente. Assim a situação mais favorável passa a ser a de colocar um colaborador por turno. Representando assim a destruição de 272 peças/mês.

Nº de Colaboradores	Total		Diferença	
	Custos (€/mês)	Peças Destruídas (peças/mês)	Custos (€/mês)	Peças Destruídas (peças/mês)
Sem Ultra-sons	5355,69	1806	---	---
Um Por turno	2902,42	272	-45,8%	-84,9%
Excepto no turno de menor produção	3478,01	648	-35,15%	-64,1%
Um no turno Intermédio	2790,04	648	-47,9%	-64,1%

Tabela 9 - Tabela sobre a diferença entre as várias opções de colocação de colaboradores com o estado inicial.

Representando os valores das diferenças entre o antes da implementação com as várias combinações de colaboradores, obtêm-se o seguinte gráfico.

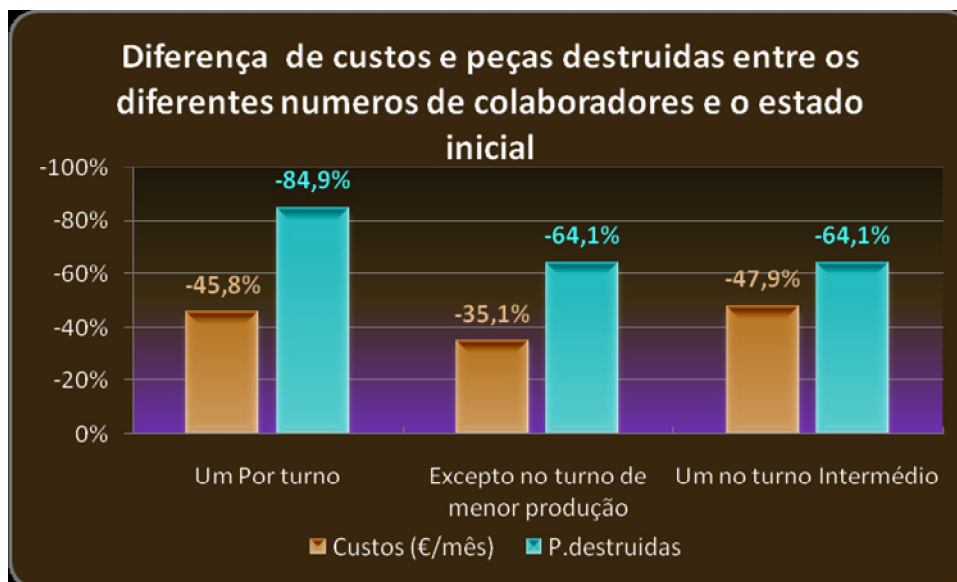


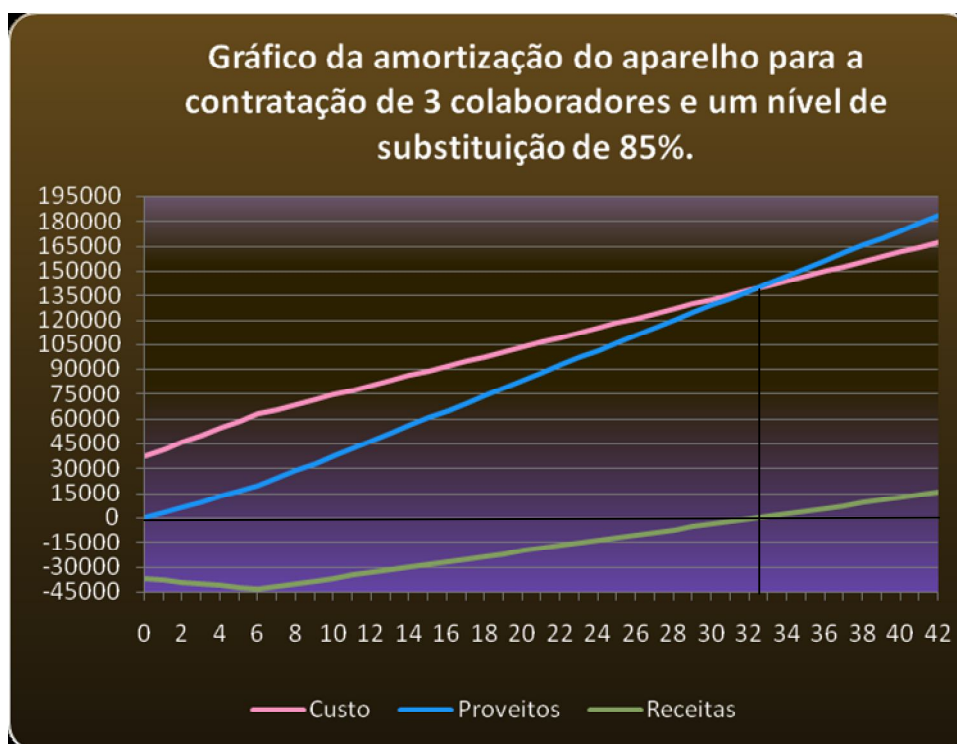
Figura 74 - Gráfico das diferenças entre os custos e peças destruídas entre o estado inicial e as diferentes situações de colocação de colaboradores.

Da análise do gráfico anterior, pode-se concluir que em termos de custos a maior redução possível para um nível de substituição de 85% é de 47,9% para o caso de um colaborador em turno intermédio. Contudo, não é a situação que apresenta a maior redução de peças destruídas.

No que diz respeito a peças destruídas, a situação que apresenta uma maior redução é colocar uma pessoa por turno, apresentando assim uma redução de 84,9%.

Assim, podemos concluir que a melhor situação é a de colocar um colaborador em cada turno. Isto porque apesar de apresentar uma redução de custos menor 2% que o caso de um colaborador em turno intermédio, é a situação que apresenta maior redução das peças destruídas com uma diferença para as restantes de cerca de 20%.

A amortização do equipamento para a situação de colocar um colaborador por turno e um nível de substituição de 85% é dada pelo gráfico que se segue.



**Figura 7526 - Gráfico sobre a amortização do aparelho para a colocação de um colaborador por turno e um nível de substituição de 85%.**

À primeira vista, pode-se concluir que para contratação de 3 colaboradores e um nível de substituição de 85%, a amortização da implementação do aparelho de ultrasons vai ser efectuada em 33 meses. Contudo este tempo tem tendência a se reduzir devido ao aumento de peças com pontos de soldadura.

O gráfico anterior tem por base a tabela do anexo P.

## 8. Conclusões.

O balanço final deste estágio só foi positivo, quer ao nível dos objectivos atingidos quer ao nível pessoal.

Do ponto de vista pessoal foi bastante enriquecedor, quer ao nível humano, pois permitiu estar o contacto com pessoas com filosofias, formações e culturas diferentes, quer ao nível técnico também, pois permitiu a familiarização com várias tecnologias.

No que diz respeito ao principal objectivo do projecto, lamento o facto de não ter sido possível adquirir a banca de ultra-sons atempadamente, faltando assim a implementação na produção. Contudo, é possível acompanhar a produção de cerca de 50% das referências com pontos unidos por soldadura de resistência. Sendo exequível ajustar os programas das restantes peças na primeira fase de implementação.

A parte documental e formativa da implementação foi toda realizada. Mesmo assim, seria fundamental que os colaboradores, que irão realizar os ensaios não-destrutivos, pudessem adquirir mais alguma experiência e prática a efectuar o ensaio de ultra-sons.

Para o acompanhamento da fiabilidade do aparelho, foram realizados vários gráficos mensais. Estes gráficos abordam as medições efectuadas, a fiabilidade do aparelho e a fiabilidade dos projectos. Porém não se efectuaram gráficos para cada referência por se tratar de um número bastante elevado de elementos a considerar. No entanto, foi possível concluir que é possível obter uma fiabilidade elevada, visto que apenas com os primeiros ajustes se conseguiu uma fiabilidade de 87%. Daí que o aparelho necessite de um ajuste contínuo.

A substituição dos ensaios destrutivos será efectuada de uma forma faseada, sendo que nos seis primeiros meses apenas serão substituídos 60% dos ensaios destrutivos e nos meses seguintes passará para 85%. Nos seis primeiros meses foi definido este nível para um ajuste contínuo dos programas e para que os controladores consigam adquirir mais alguma prática. Nos meses seguintes foi definido o nível de 85%, devido à fiabilidade do aparelho. Contudo, esse nível poderá ser alterado caso se obtenham fiabilidades mais elevadas.

Os estudos efectuados sobre a contratação de mais colaboradores revelam um resultado um pouco inesperado. Esta surpresa está relacionada com o número de contratações ideais. Isto porque a situação que se demonstra mais vantajosa é aquela que admite o maior número de colaboradores. Sendo assim, o estudo demonstra que o ideal seria contratar um colaborador para cada turno, destruindo-se 272 peças/mês as quais têm um custo associado de 2902€/mês. Este estudo teve por base um nível de substituição de 85% e admitindo que os controladores apresentavam um custo para a empresa de 700€/mês.

Perante a situação atrás descrita chega-se à conclusão que o aparelho será amortizado ao final de 33 meses, admitindo todos os custos da implementação.

Por fim, e devido ao crescente número de soldaduras TIG e MIG/MAG efectuadas, seria interessante estudar a implementação de algum método não-destrutivo para o controlo de cordões de soldadura.

## 9. Referências e bibliografia

- “*Statistical Process Control (SPC)*”; Chrysler Corporation, Ford Motor Company and General Motors Corporation.
- ANDREUCCI, Ricardo; “*Ensaio Por Ultra-Som*”; Abende, Julho de 2003.
- ANDREUCCI, Ricardo; “*Radiologia Industrial*”; Abende, Janeiro de 2005.
- J.Dias de Deus et al., “*Introdução à Física*”, editora McGraw-Hill.
- R.A. Serway, “*Physics for Scientist and Engineers*”, editora Saunders.
- NP EN 1713 2000; “*Ensaaios não destrutivos de soldaduras: ensaio de ultrasons: características das indicações nas soldaduras*”; Instituto Português da Qualidade.
- Pinondel , Marie-José; “*Manuel pratique de contrôleur par ultrasons*”; Editions Eyroilles.
- Richardson, E.G.; “*Ultrasonic physics*”;Elsevier Publishing Company.
- Krautkramer, Joseph and Herbert; “*Ultrasonic testing of materials*”;Springer-Verlag.
- <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ultra-som>
- <http://sme.dcm.fct.unl.pt/u/dias/docencia/Q&EM/NDT%20Ultrasons.pdf>
- <http://www.google.pt/search?hl=pt-PT&q=ultra-sons&meta=>
- [http://www.ultrasonidostironi.com/all\\_eng/?ref=chg\\_g\\_tcf](http://www.ultrasonidostironi.com/all_eng/?ref=chg_g_tcf)
- <http://www.schunk-ultraschall.com/en/schunk01.c.30329.de>
- <http://www.bertiultrasonic.com.br/materiais-soldagem.htm>
- <http://www.risan.lda.pt/produtos.htm#Soldadura%20por%20Ultra%20Sons>
- [http://w3.ualg.pt/~cmsilva/documentos/Transpar%C3%A2ncias\\_5\\_F%C3%ADsica\\_M%C3%A9dica\\_EF\\_b&w.pdf](http://w3.ualg.pt/~cmsilva/documentos/Transpar%C3%A2ncias_5_F%C3%ADsica_M%C3%A9dica_EF_b&w.pdf)
- <http://www.ndtjames.com/catalog/ultrasonicTesting/index.html>

- [http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1162\\_\\_TrabCREEnsDiagnostico2007.pdf](http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/1162__TrabCREEnsDiagnostico2007.pdf)
- <http://www.qualidadeaeronautica.com.br/princ.US.htm>
- [http://www.abende.org.br/biblioteca\\_apostila.php?w=1024&h=768#ultra](http://www.abende.org.br/biblioteca_apostila.php?w=1024&h=768#ultra)
- [http://www.labmat.com.br/ae\\_end.html](http://www.labmat.com.br/ae_end.html)
- <http://www.gonzalodiaz.net/ultrasonido/ultrasonidos/ultrasonido.shtml>
- [http://www.edap-hifu.com/images/UST\\_ES\\_1.pdf](http://www.edap-hifu.com/images/UST_ES_1.pdf)
- <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/luisbernal.pdf>
- <http://www.dagasl.es/sylvatest.htm>
- <http://www.desi.iteso.mx/elec/instru/ultrason.pdf>
- <http://www.gineconet.com/articulos/1664.htm>
- <http://www.numaboa.com.br/coreto/tutor/fenomenos.php>
- <http://www.monografias.com/trabajos14/ultrasonido/ultrasonido.shtml>
- [http://br.geocities.com/ondas\\_py5aal/](http://br.geocities.com/ondas_py5aal/)
- [http://web.educom.pt/~pr1258/8ano/a6\\_som8ano.htm](http://web.educom.pt/~pr1258/8ano/a6_som8ano.htm)
- <http://web.educom.pt/fq/som/velocidadedosom.htm>
- <http://www.ajc.pt/ciencia/n23/avulso8.php>
- <http://www.dcm.fct.unl.pt/dcm/brochura/brochura.pdf>
- <http://www.quarkmedical.com.br/br/descontinuados/proseven977s/proseven977s-v11.pdf>
- <http://www.geocities.com/egnnews/usions.htm>



## ANEXO A: Tipos de Ensaios Não Destrutivos.

### 1. ANÁLISE DE VIBRAÇÕES

O ensaio por vibrações mecânicas, em muitas situações, é um método indispensável na detecção prematura de anomalias de operação em virtude de determinados problemas, tais como, falta de balanceamento das partes rotativas, desalinhamento de juntas e rolamentos, excentricidade, interferência, erosão localizada, abrasão, ressonância, folgas, etc.

Um sensor piezoelétrico é acoplado a um mancal, um chassis da máquina ou a um certo componente. Este sensor, através de um aparelho, indica a quantidade e direcção da vibração detectada. Bom conhecimento teórico e prático do operador são essenciais ao sucesso do ensaio.



Figura 76 - Imagem de um equipamento de análise de vibrações.

O método tem-se provado particularmente útil na monitorização de operação mecânica de máquinas rotativas (ventiladores, compressores, bombas, turbinas, etc.), na detecção e reconhecimento da deterioração de rolamentos, no estudo de mau funcionamento típicos em maquinaria com regime cíclico de trabalho, laminadores, prensas, etc., e na análise de vibrações dos processos de trincamento, nomeadamente em turbinas e outras máquinas rotativas ou vibratórias.

Este método também permite uma grande fiabilidade na operação de instalações, como por exemplo na engenharia civil para o estudo do comportamento das estruturas sujeitas a carregamento provocados por um tráfego de alta velocidade, e na interrupção de uma máquina em tempo hábil, para substituição de peças desgastadas. Também na maquinagem a medição das vibrações é essencial para a melhoria da qualidade final do produto.

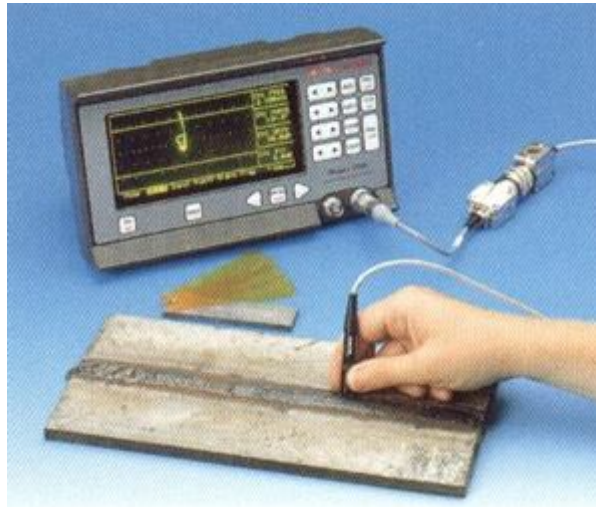


**Figura 7727 - Representação da forma como se executa o ensaio de vibrações.**

O Ensaio de Análise de Vibrações é um método muito interessante, pois a identificação das falhas na monitorização de máquinas e motores é feito por medições electrónicas das vibrações, não percebidas por nossos ouvidos, eliminando assim a subjectividade do técnico.

## **2. CORRENTES INDUZIDAS**

Para identificação de fissuração superficial, sub superficial e de indentações usa-se um tipo de END denominado “Correntes Induzidas” (na linguagem anglo-saxónica designadas por “Eddy Current”; também bastante conhecidas pela designação francófona de “Courrant de Foucault”).



**Figura 78 - Ensaio por correntes induzidas.**

Este método baseia-se no princípio de indução de uma corrente de valor conhecido num componente com uma dada configuração e fabricado num material de características conhecidas. Simultaneamente desloca-se uma sonda ao longo duma trajectória sobre a superfície da peça. A conjugação da indução da corrente eléctrica na peça e do movimento de deslocamento da sonda, provoca o aparecimento duma corrente induzida que é captada pela sonda e medida através de equipamento apropriado.

O valor da corrente induzida (recebida) depende do valor da corrente aplicada ao componente, duma forma que é conhecida. A eventual existência de fissuração superficial ou sub superficial, pela ausência de material que lhe está associada, provoca uma alteração das propriedades electromagnéticas do material de base que tem como consequência uma alteração local do valor da corrente induzida que é recebida pela sonda. A profundidade abaixo da superfície a que se consegue detectar fissuras depende das características da corrente induzida, nomeadamente da sua frequência (menor frequência corresponde a maior profundidade). Medindo esta variação obtêm-se as características da fissura existente, porém, por comparação com a resposta homóloga obtida a partir de um componente de características iguais e sem quaisquer defeitos, denominado padrão.

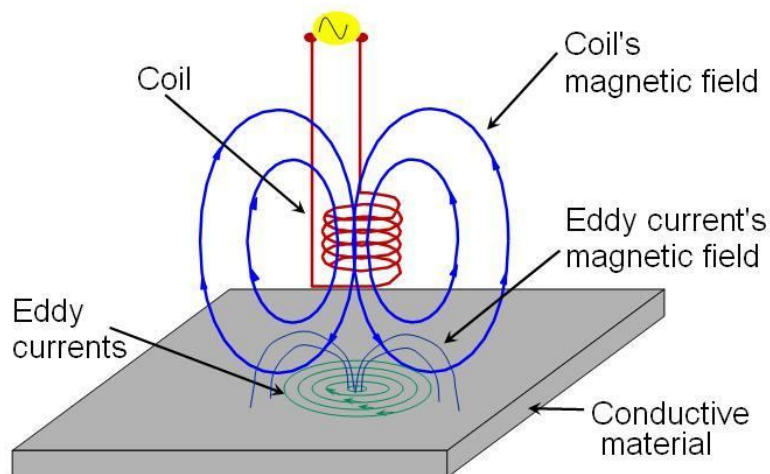


Figura 79 - Modo de funcionamento do ensaio de correntes induzidas.

Este método requer a existência de um padrão para avaliar as anomalias existentes. O padrão é necessário para se poder comparar a resposta obtida a partir de um componente com defeitos relativamente a um isento de quaisquer defeitos.

Assim o método de END através de “Correntes Induzidas” requer, como condição prévia, a existência de padrões e sondas, de acordo com o tipo de componentes a avaliar e de defeitos a pesquisar. Trata-se de um END em franca expansão, sobretudo, a partir do momento em que se começaram a produzir equipamentos portáteis e de grande simplicidade de manuseamento.

O método de END por “Correntes Induzidas” tem vindo progressivamente a substituir os métodos por “Líquidos Penetrantes” e por “Partículas Magnéticas”, pelo maior rigor e precisão que se obtém, quando comparado com as mesmas características de portabilidade e facilidade de manuseamento.

### 3. EMISSÃO ACÚSTICA

O princípio do método é baseado na detecção de ondas acústicas emitidas por um material em função de uma força ou deformação aplicada nele. Caso este material tenha uma trinca, descontinuidade ou defeito, a sua propagação irá provocar ondas acústicas detectadas pelo sistema.

Os resultados do ensaio por emissão acústica não são convencionais. Na realidade este método não deve ser utilizado para determinar o tipo ou tamanho das descontinuidades em uma estrutura, mas sim, para se registar a evolução das

descontinuidades durante a aplicação de tensões para as quais a estrutura estará sujeita, desde que as cargas sejam suficientes para gerar deformações localizadas, crescimento do defeito, destacamento de escória, fricção, ou outros fenómenos físicos.

Aplica-se a emissão acústica quando se quer analisar ou estudar o comportamento dinâmico de defeitos em peças ou em estruturas metálicas complexas, assim como registar a sua localização. O ensaio por emissão acústica permite a localização da falha, captados por sensores instalados na estrutura ou no equipamento a ser monitorizado.

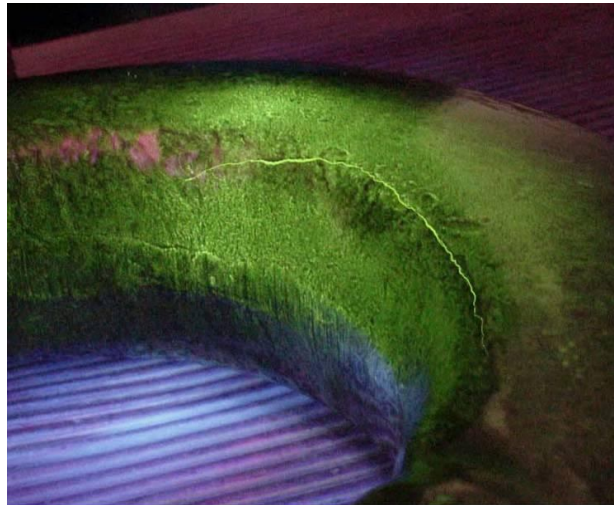
É o caso da monitorização de cilindros contendo gás sob pressão para abastecimento, do teste hidrostático e pneumático em vasos de pressão, do teste de fadiga, do controle de processos de soldadura e ainda da caracterização de materiais.



**Figura 28- Aplicação do ensaio de emissões acústicas.**

#### **4. ENSAIO POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS**

Este ensaio é utilizado para detectar descontinuidades superficiais e sub superficiais em materiais ferro fundidos, forjados, soldados, laminados, extrudidos, trefilados, maquinados, etc. Aplicado durante o fabrico, após o fabrico e na manutenção para a detecção de descontinuidades em serviço.



**Figura 81 - Detecção de uma fenda pelo ensaio de partículas magnéticas.**

Esta técnica consiste em fazer atravessar a superfície a avaliar por um campo magnético que pode ser alinhado segundo direcções perpendiculares de acordo com a configuração e geometria da peça a avaliar. As linhas de força desse campo magnético ao atravessar a peça poderão ser distorcidas na presença de fissuração. Esta distorção decorre dum fenómeno correspondente à variação duma grandeza denominada permeabilidade magnética (que caracteriza a facilidade com que as linhas de força atravessam a matéria), que se reduz se no seio duma liga metálica existirem partes não metálicas, agravando-se se estas áreas estiverem preenchidas com ar ou simplesmente em vácuo (situação pouco provável). A exposição da peça ao campo magnético provoca a magnetização desta superfície (razão pela qual este END só se aplica a peças constituídas por ligas metálicas magnetizáveis).

Se existirem fissuras superficiais ou sub superficiais a magnetização varia, tornando-se mais intensa sobre as áreas onde se situam essas fissuras (à diminuição da permeabilidade magnética corresponde uma maior intensidade do campo magnético). A este fenómeno físico basta medir a variação do campo magnético, duma forma prática e evidente. O método expedito que é seguido, consiste em aplicar um líquido (algo viscoso) que contém em suspensão inúmeras micro-partículas metálicas, coloridas e fluorescentes, que uma vez iluminadas com luz ultravioleta (e numa câmara escura), mostram a orientação preferencial dessas partículas de acordo com as variações locais do campo magnético, correspondendo as fissuras existentes.





**Figura 82 - Visualização dos defeitos detectados por este tipo de ensaio não destrutivo.**

Também neste tipo de ensaios, a competência e a experiência dos executantes e intérpretes é fundamental para distinguirem as anomalias inócuas dos defeitos com alguma gravidade.

No final deste END as peças devem ser desmagnetizadas para remoção do campo magnético residual, que doutra forma se mantém permanente.

Este ensaio é constituído por uma série de etapas básicas, tais como:

- Estudar os documentos aplicáveis;
- Efectuar uma pré-limpeza;
- Estabelecer na peça um campo magnético adequado;
- Aplicar as partículas magnéticas na superfície da peça;
- Examinar e analisar a acumulação de partículas na superfície da peça;
- Desmagnetizar, limpar, proteger e identificar a peça;
- Elaborar um relatório com os resultados obtidos.

Para a execução de um ensaio deste tipo deverá consultar-se a norma técnica, manual do fabricante da peça, boletins de serviço, procedimento de ensaio e etc. Nestes documentos podem ser encontradas as especificações do ensaio, ou seja, a técnica de ensaio, onde são estabelecidas as regras para a execução do ensaio, as descrições de

cada etapa, bem como os critérios de aceitação e rejeição, onde são descritos os limites quanto aos tipos, tamanho, quantidade e localização das descontinuidades aceitáveis.

Geralmente adoptam-se duas normas ou dois documentos específicos, um para o procedimento do ensaio e outro com os critérios de aceitação e rejeição. Alguns manuais de fabricantes trazem a técnica de ensaio completa, incluindo os critérios de aceitação e rejeição, outros manuais indicam as normas técnicas a serem adoptadas.

Como já foi referido, nem todos os materiais podem ser testados por esta técnica, apenas as ligas metálicas magnetizáveis. Estes materiais podem ser divididos em três grandes grupos, segundo a influência que venham a sofrer em função do campo magnético:

➤ **Materiais ferromagnéticos:**

Em elementos como o Ferro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Gadolínio (Gd), e em certas ligas destes, ocorre um fenómeno denominado ferro magnetismo, que lhes possibilita adquirir um alto grau de alinhamento magnético de tal modo que venham a ser fortemente atraídas por imãs. Nesses elementos a permeabilidade magnética é maior do que 1.

➤ **Materiais paramagnéticos:**

Quando colocados num campo magnético, o alinhamento dos dipolos atómicos elementares não é perfeito, ocasionando uma fraca atracção pelos imãs. Normalmente a permeabilidade magnética relativa de tais metais é praticamente igual a 1.

➤ **Materiais diamagnéticos:**

São os materiais cuja permeabilidade relativa é pouco menor 1. Como exemplo, tem-se o Zinco (Zn), Mercúrio (Hg), Bismuto (Bi) e o Cobre (Cu).

## **CAMPO MAGNÉTICO E DESCONTINUIDADE**

Existindo um campo de fuga, as linhas de fluxo atraem as partículas magnéticas para que elas funcionem como uma ponte para as linhas de fluxo do campo magnético. No caso de um campo magnético circular criado ou induzido numa peça tubular, teremos um campo contido, sem a possibilidade da formação dos pólos magnéticos N e S. Se interrompermos esse campo circular promovendo um corte, possibilitaremos a



formação dos pólos magnéticos no campo de fuga das linhas de força.

Para melhor sensibilidade do ensaio por partículas magnéticas, a descontinuidade deve estar orientada a 90° em relação à direcção do campo magnético.

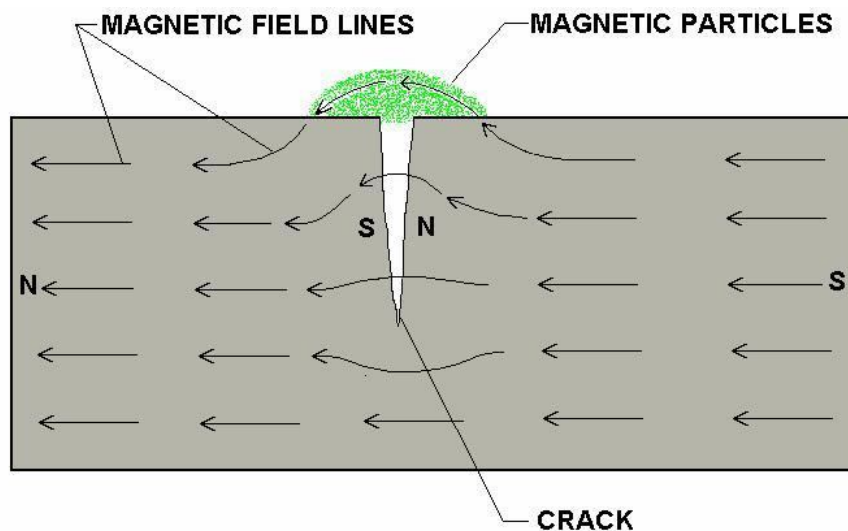


Figura 83 - Distorção das linhas do campo magnético causada por uma fenda.

## INSPECÇÃO

Estando a peça correctamente magnetizada e as partículas aplicadas, a peça estará pronta a ser inspeccionada sob luz negra. O operador, para sua segurança, não deverá olhar directamente para o foco de luz ultravioleta. Deve então fazer-se incidir sobre a área a ser inspeccionada, o feixe de luz negra ou branca observando-se de seguida a área a ser inspeccionada. Havendo descontinuidades, elas serão denunciadas pela manifestação do fenómeno da fluorescência ou indicações características da cor das partículas visíveis. O operador deve deixar que seus olhos se acostumem com a cabine escura e com a luz negra acesa, por um período mínimo de um minuto antes de iniciar.

O tempo de permanência do operador dentro da cabine deve ser de no máximo duas horas, necessitando após este período, de um intervalo de quinze minutos para evitar a fadiga visual. A intensidade mínima da luz negra é de 1.000 m w/cm<sup>2</sup>, enquanto a luz branca dentro da área de inspecção com partículas fluorescentes, não pode ultrapassar 20 lux.

## PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

As partículas são feitas de material ferro magnético. Geralmente utiliza-se uma combinação de ferro e óxido de ferro, tendo alta permeabilidade e baixa retentividade. Tendo alta permeabilidade magnética, são facilmente atraídas pelo campo de fuga gerado pela descontinuidade. A baixa retentividade é requerida para evitar que fiquem magnetizadas.

Podem ser visíveis (com luz branca), nas cores: vermelha, preta, cinza e etc., ou fluorescentes (com luz negra). As partículas fluorescentes são as mais sensíveis e devem ser adoptadas para peças aeronáuticas, por exemplo.

O meio de aplicação das partículas magnéticas interfere directamente na mobilidade das mesmas devido à maior ou menor facilidade que elas encontram de se deslocar até um campo de fuga. Existem dois tipos de forma de aplicação que se resumem basicamente em:

- Via Seca: Veículo "ar";
- Via Húmida: Veículos "água, destilados de petróleo e óleos especiais".

## MÉTODOS DE ENSAIO

- **Método contínuo:**

É mais rápido e eficiente que o residual e não se limita às descontinuidades superficiais. Consiste em aplicar as partículas tanto pela técnica seca como pela técnica húmida durante a magnetização, ou seja, durante o período em que a força magnetizante está sendo aplicada.

- **Método residual:**

Consiste em aplicar as partículas magnéticas após a força de magnetização ter sido removida. Para casos especiais o método residual será aplicado mas somente tendo em mãos uma técnica devidamente elaborada e aprovada.

## 5. ENSAIO RAIIO-X

### Introdução

Quando se desejam inspeccionar peças com a finalidade de investigar sobre defeitos internos, a **Radiografia** e o **Ultra-som** são poderosos métodos que podem detectar com alta sensibilidade descontinuidades com poucos milímetros de extensão. Usados principalmente nas indústrias de petróleo e petroquímica, nuclear, alimentícia, farmacêutica, geração de energia para inspecção e principalmente de zonas com soldadura e fundidos, a radiografia e o ultra-som desempenham um papel importante na comprovação da qualidade da peça ou componente em conformidade com os requisitos das normas, especificações e códigos de fabricação. Usados também na qualificação de soldadores e operadores de soldadura, a radiografia e ultra-som proporcionam registros importantes para a documentação da qualidade.

Em juntas de soldadura, a radiografia e o ultra-som são dois métodos frequentemente referenciados pelos Códigos de fabrico de peças ou estruturas de responsabilidade, para determinação da eficiência da base de cálculo pela engenharia.

A radiologia industrial desempenha um papel importante e de certa forma insuperável na documentação da qualidade do produto inspeccionado, pois a imagem projectada do filme radiográfico representa a "fotografia" interna da peça, o que nenhum outro ensaio não destrutivo é capaz de mostrar na área industrial.

Sendo assim, a formação, qualificação e certificação dos profissionais envolvidos com estes métodos é um requisito muito importante do sistema da qualidade.

### Descrição Genérica do Método e Aplicações

A radiografia é um método utilizado para inspecção não destrutiva que se baseia na absorção diferenciada da radiação penetrante pela peça que está a ser inspeccionada. Devido às diferenças na densidade e variações na espessura do material, ou mesmo diferenças nas características de absorção causadas por variações na composição do material, diferentes regiões de uma peça absorverão quantidades diferentes da radiação penetrante. Essa absorção diferenciada da radiação poderá ser detectada através de um filme, de um tubo de imagem ou mesmo medida por detectores electrónicos de radiação. Essa variação na quantidade de radiação absorvida, detectada através de um

determinado meio, irá indicar-nos, entre outras coisas, a existência de uma falha interna ou defeito no material.

A radiografia industrial é então utilizada para detectar a variação de uma região de um determinado material que apresenta uma diferença em espessura, ou densidade, comparada com uma região vizinha, isto é, a radiografia é um método capaz de detectar com excelente sensibilidade defeitos volumétricos. Isto quer dizer que a capacidade do processo de detectar defeitos com pequenas espessuras em planos perpendiculares ao feixe, como trinca dependerá da técnica de ensaio realizado. Defeitos volumétricos como vazios e inclusões que apresentam uma espessura variável em todas direcções, serão facilmente detectadas desde que não sejam muito pequenos em relação à espessura da peça.

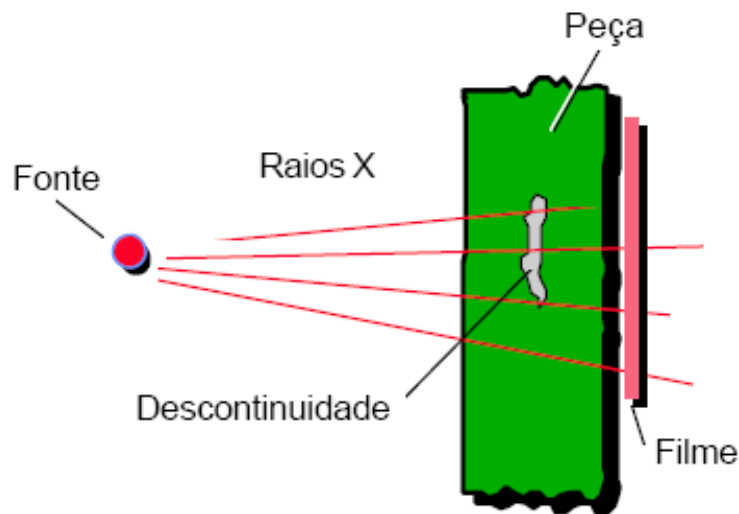


Figura 84 - Esquema genérico do ensaio radiográfico industrial.

### A Natureza da Radiação Ionizante

Com a descoberta dos Raios-X pelo físico W. C. Roentgen em 1895, imediatamente se iniciaram os estudos sobre as emissões de partículas, provenientes de corpos radioactivos, observando as suas propriedades e interpretando os resultados.

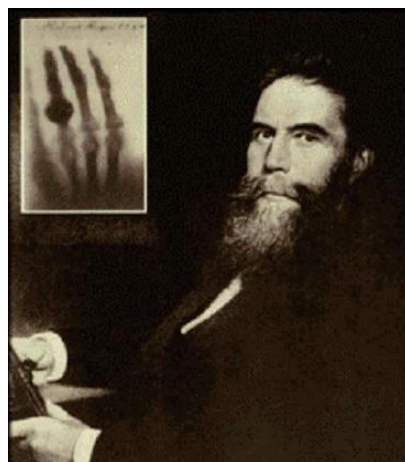


Figura 85- W.C.Reotgen em 1895.

Nesta época, destacaram-se mais dois cientistas, Pierre e Marie Curie, pela descoberta do polónio e do rádio e ainda pela denominação “Radioactividade” (propriedade de emissão de radiações por diversas substâncias).

No começo do século XX, mais precisamente em 1903, Rutherford, após profundos estudos, formulou hipóteses sobre as emissões radioactivas, sabendo que naquela época ainda não se conhecia o átomo e o respectivo núcleo atómico, cabendo a este cientista a formulação do primeiro e actualmente aceite modelo atómico.

O nome “Radiação Penetrante” teve origem na propriedade de que certas formas de energia radiante possuem ao atravessar materiais opacos à luz visível. Podemos distinguir dois tipos de radiação penetrante usados na radiografia industrial: os Raios-X e os

Raios Gama. Eles distinguem-se da luz visível por possuírem um comprimento de onda extremamente curto, o que lhes dá a capacidade de atravessarem materiais que absorvem ou reflectem a luz visível.

Por serem de natureza semelhante à luz, os Raios-X e os Raios Gama possuem uma série de propriedades em comum com a luz entre as quais podemos citar:

- Mesma velocidade de propagação (300.000 km/s);
- Deslocam-se em linha recta;
- Não são afectadas por campos eléctricos ou magnéticos;
- Possuem a capacidade de “imprimir” emulsões fotográficas.

Poderíamos citar outras propriedades comuns entre as radiações penetrantes e a luz visível, no entanto, vários fenómenos que observamos na luz, são muitos difíceis de ser detectados. O fenómeno de refacção, por exemplo, ocorre nas radiações penetrantes, mas numa escala tão pequena que são necessários instrumentos muito sensíveis para detectá-lo. Isso explica porque a radiação penetrante não pode ser focada através de lentes, como acontece com a luz.

No âmbito dos ensaios não destrutivos devemos salientar seis propriedades da radiação penetrante que são de particular importância:

- Deslocam-se em linha recta;
- Podem atravessar materiais opacos a luz, e ao fazê-lo, são parcialmente absorvidos por esses materiais;
- Podem “imprimir” películas fotográficas, formando imagens;
- Provocam o fenómeno da fluorescência;
- Provocam efeitos genéticos;
- Provocam ionizações nos gases.

## **Radiação e Radioactividade**

Define-se “Radioactividade” como sendo a emissão espontânea de radiação por um núcleo atómico, que se encontra num estado excitado de energia. Existem três tipos diferentes de radiação, como segue:

- Partículas Alfa ( $\alpha$ )
- Partículas Beta ( $\beta$ )
- Raios Gama ( $\gamma$ )

As partículas “Alfa” são constituídas por dois neutrões e dois protões, caracterizando um núcleo atómico de Hélio. Devido ao seu alto peso e tamanho, elas possuem pouca penetração e são facilmente absorvidas por poucos centímetros de ar.

As partículas “Beta” são constituídas por electrões, que possuem velocidades próximas da luz, com carga eléctrica negativa. Possuem um poder de penetração

bastante superior às radiações Alfa, podendo ser absorvidas por alguns centímetros de acrílico ou plásticos, na sua grande maioria.

As partículas “Gama” são de natureza ondulatória, ao contrário das demais que tem características corpusculares. Devido a isto, adquire um alto poder de penetração nos materiais.

É possível separar os três tipos de radiação descritos através da aplicação de um campo eléctrico ou magnético, numa amostra de material radioactivo.

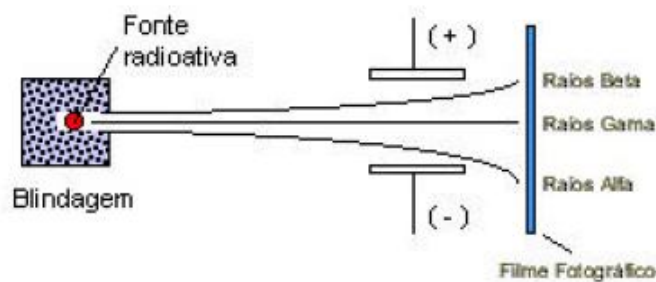


Figura 86 - Esquema da separação das radiações Alfa, Gama e Beta.

O poder de penetração das radiações electromagnéticas, Raios-X e Gama, é caracterizado pelo seu comprimento de onda (ou energia). As propriedades dos Raios-X que têm importância fundamental, quando se trata de ensaios não destrutivos, são aquelas citadas anteriormente. Outras grandezas relativas às ondas electromagnéticas são a frequência e a energia. Podemos converter a energia em comprimento de onda ou em frequência. A equação que relaciona a energia com o comprimento de onda é a equação de Planck:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

onde:

E = energia (Joule);

h = constante de Planck ( 6.624 x 10-34 Joule x segundo);

c = velocidade da luz;

l = comprimento de onda.

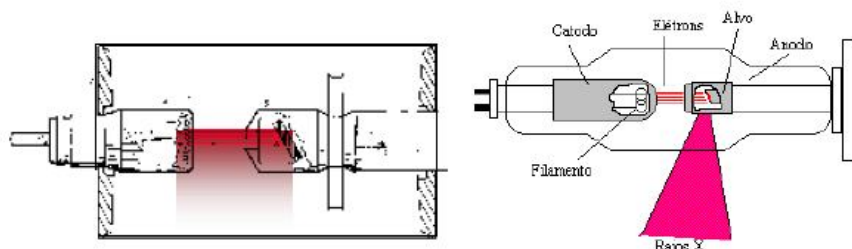
A energia das radiações emitidas tem importância fundamental no ensaio radiográfico, pois a capacidade de penetração nos materiais está associada a esta propriedade.

## EQUIPAMENTOS E FONTES DE RADIAÇÃO

### Os Raios-X

As radiações X, são emitidas das camadas electrónicas dos átomos. Essas emissões não ocorrem de forma desordenada, possuindo um “padrão” de emissão denominado espectro de emissão.

Os Raios-X, destinados ao uso industrial, são gerados numa ampola de vidro, denominada tubo de Coolidge, que possui duas partes distintas: o ânodo e o cátodo. O ânodo e o cátodo são submetidos a uma tensão eléctrica da ordem de milhares de Volts, sendo o pólo positivo ligado ao ânodo e o negativo no cátodo. O ânodo é constituído por uma pequena parte fabricada em tungsténio, também denominado de alvo, e o cátodo de um pequeno filamento, tal qual uma lâmpada incandescente, por onde passa uma corrente eléctrica da ordem de miliamperes.



**Figura 87 - Esquema de tubos convencionais de Raios-X Industrial. O tubo da esquerda é um tubo metálico e o da direita de vidro.**

Quando o tubo é ligado, a corrente eléctrica do filamento aquece e passa a emitir espontaneamente electrões, que são atraídos e acelerados em direcção ao alvo. Nesta interacção, dos electrões com os átomos de tungsténio, ocorre a desaceleração repentina dos electrões, transformando a energia cinética adquirida em Raios-X.

Outros fenómenos de interacção dos electrões acelerados com as camadas electrónicas dos átomos de tungsténio também são responsáveis pela emissão dos Raios-X.

Os Raios-X, são gerados nas camadas electrónicas dos átomos por variados processos físicos. Caracterizam-se por apresentar um espectro contínuo de emissão ao



contrário das radiações gama. Em outras palavras, os Raios-X emitidos pelo aparelho apresentam uma variedade muito grande de comprimento de onda, ou seja, que a energia varia de uma forma contínua.

## Equipamentos de Raios X

Os Raios-X são produzidos em ampolas especiais. Os tamanhos destas ampolas ou tubos são em função da tensão máxima de operação do aparelho.

Do ponto de vista da radiografia, uma atenção especial deve ser dada ao alvo, contido no ânodo. A sua superfície é atingida pelo fluxo electrónico, proveniente do filamento, e denomina-se foco térmico. É importante que esta superfície seja suficiente grande para evitar um super aquecimento local, que poderia deteriorar o ânodo, e permitir uma rápida transmissão do calor.

Define-se “carga focal” como sendo a carga em Watts por milímetro quadrado (por exemplo: 200 W/mm<sup>2</sup>) na área focal. Nas áreas focais de pequenas dimensões, pode ser aplicada uma carga relativamente mais elevada que nas áreas grandes; esta diferença é devida à diferença no modo de transmissão do calor, a partir do centro.

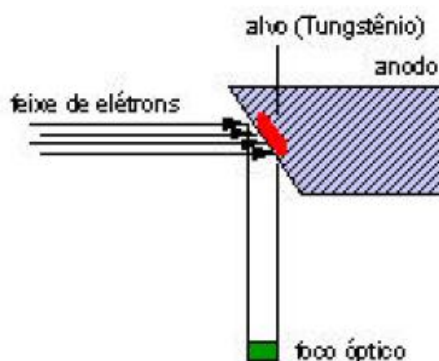


Figura 88- Corte transversal do ânodo na ampola de raio-X.

Para se obter imagens com nitidez máxima, as dimensões do foco óptico devem ser as menores possíveis. As especificações de aparelhos geralmente mencionam as dimensões do foco óptico.

O calor que acompanha a formação de Raios-X é considerável, e portanto é necessário especial atenção aos sistemas e métodos para refrigerar o ânodo. Esta refrigeração pode ser feita de diversas maneiras:

- a) Refrigeração por irradiação: Neste caso o bloco de tungsténio, que compõe o alvo, se aquece e o calor se irradia pelo ânodo.
- b) Refrigeração por convecção: O calor irradiado pelo ânodo, se transmite ao prolongamento de cobre, o qual está imerso em óleo ou gás, que se refrigera por convecção natural, ou por circulação.
- c) Refrigeração por circulação forçada de água: A refrigeração descrita em (b), é limitada, principalmente se o aparelho for operado continuamente, exposto ao sol. Neste caso, a circulação de água por uma serpentina interna à unidade geradora, é eficaz, permitindo o uso do aparelho por longos períodos de uso.

### **Unidade Geradora, Painel de Comando**

Os equipamentos de Raios-X industriais dividem-se geralmente em dois componentes: o painel de controlo e o cabeçote, ou unidade geradora.

O painel de controlo consiste em uma caixa onde estão alojados todos os controlos, indicadores, chaves e medidores, além de conter todo o equipamento do circuito gerador de alta voltagem. E através do painel de controlo que se fazem os ajustes de voltagem e amperagem, além de comando de accionamento do aparelho.

No cabeçote está alojada a ampola e os dispositivos de refrigeração. A conexão entre o painel de controlo e o cabeçote se faz através de cabos especiais de alta tensão.

As principais características de um equipamento de Raios X são:

A – voltagem e amperagem máxima;

B – tamanho do ponto focal e tipo de feixe de radiação;

C – peso e tamanho.

Esses dados determinam a capacidade de operação do equipamento, pois estão directamente ligados ao que o equipamento pode ou não fazer. Isso se deve ao fato dessas grandezas determinarem as características da radiação gerada no equipamento.

A voltagem se refere à diferença de potencial entre o ânodo e o cátodo e é expressa em quilovolts (kV). A amperagem se refere à corrente eléctrica do tubo e é expressa em miliamperes (mA).

Outro dado importante se refere à forma geométrica do ânodo no tubo. Quando em forma plana, e angulada, propicia um feixe de radiação direccional, e quando em forma de cone, propicia um feixe de radiação panorâmico, isto é, irradiação a 360 graus, com abertura determinada.

Os equipamentos considerados portáteis, com voltagens até 400 kV, possuem peso em torno de 40 a 80 kg, dependendo do modelo. Os modelos de tubos refrigerados a gás são mais leves ao contrário dos refrigerados a óleo.



**Figura 89- Equipamento raio-x industrial.**

## **Acessórios do Aparelho de Raios X**

### Cabos de energia

O aparelho de Raios-X composto pela mesa de comando e unidade geradora, são ligadas entre si através do cabo de energia. A distância entre a unidade geradora e a mesa de comando deve ser tal que o operador esteja protegido no momento da operação dos controles, segundo as normas básicas de segurança. Para tanto os fabricantes de aparelhos de Raios X fornecem cabos de ligação com comprimento de 20 a 30 metros dependendo da potência máxima do tubo gerador.

## Blindagem de Protecção

O início da operação do aparelho deve ser feito com aquecimento lento do tubo de Raios-X, conforme as recomendações do fabricante. Neste processo o operador deve utilizar as cintas ou blindagens especiais que são colocadas na região de saída da radiação, sobre a carcaça da unidade geradora. Este acessório fornecido pelo fabricante permite maior segurança durante o procedimento de aquecimento do aparelho.

## **Os Raios Gama**

Com o desenvolvimento dos reactores nucleares, foi possível a produção artificial de isótopos radioactivos através de reacções nucleares de activação. O fenómeno de activação ocorre quando elementos naturais são colocados junto ao núcleo de um reactor e, portanto, irradiados por neutrões térmicos, que atingem o núcleo do átomo, penetrando nele. Isto cria uma quebra de equilíbrio energético no núcleo, e ao mesmo tempo muda a sua massa atómica, caracterizando assim o isótopo. O estabelecimento do equilíbrio energético do núcleo do átomo, é feito pela liberação de energia na forma de Raios gama.

Um átomo que submetido ao processo de activação, e portanto seu núcleo se encontra num estado excitado de energia passa a emitir radiação. É fácil ver, portanto, que o número de átomos capazes de emitir radiação, diminui gradualmente com o decorrer do tempo. A esse fenómeno chamamos de diminuição radioactiva.

Acelerador linear industrial, para radiografias de peças com espessuras acima de 100 mm de aço. Projectado para produzir um feixe de radiação de 4 Mev, com ponto focal bastante reduzido.

## **Equipamentos de Raios Gama**

As fontes usadas em gamagrafia (radiografia com raios gama), requerem cuidados especiais de segurança pois, uma vez activadas, emitem radiação, constantemente.

Deste modo, é necessário um equipamento que forneça uma blindagem, contra as radiações emitidas da fonte quando a mesma não está sendo usada. Da mesma forma é necessário dotar essa blindagem de um sistema que permita retirar a fonte de seu interior, para que a radiografia seja feita, esse equipamento denomina-se irradiador. Os irradiadores compõem-se, basicamente, em três componentes fundamentais: uma blindagem, uma fonte radioactiva e um dispositivo para expor a fonte.

As blindagens podem ser construídas com diversos tipos de materiais. Geralmente são construídos com um elemento (chumbo ou urânio enriquecido), sendo contida dentro de um recipiente externo de aço, que tem a finalidade de proteger a blindagem contra choques mecânicos.

Uma característica importante dos irradiadores, que diz respeito à blindagem, é a sua capacidade. Como sabemos, as fontes de radiação podem ser fornecidas com diversas actividades e cada elemento radioactivo possui uma energia de radiação própria. Assim cada blindagem é dimensionada para conter um elemento radioactiva específico, com uma certa actividade máxima determinada.

Portanto, é sempre desaconselhável usar um irradiador projectado para determinado radioisótopo, com fontes radioactivas de elementos diferentes e com outras actividades.

Esse tipo de operação só pode ser feito por profissionais especializados e nunca pelo pessoal que opera o equipamento.

A fonte radioactiva consta de uma determinada quantidade de um isótopo radioactivo. Essa massa de radioisótopo é encapsulada e lacrada dentro de um pequeno envoltório metálico muitas vezes denominado "porta-fonte" ou "torpedo" devido a sua forma, ou fonte selada, simplesmente. O porta- fonte destina-se a impedir que o material radioactivo entre em contacto com qualquer superfície, ou objecto, diminuindo os riscos de uma eventual contaminação radioactiva.

### **Características Físicas e Tipo de Fontes Gama**

As fontes radioactivas para uso industrial, são encapsuladas em material austenítico, para que não haja dispersão ou fuga do material radioactivo para o exterior.

Um dispositivo de contenção, transporte e fixação por meio do qual a cápsula que contém a fonte selada, está solidamente fixada numa ponta de um cabo de aço flexível, e na outra ponta um engate, que permite o uso e manipulação da fonte, é denominado de “porta fonte”. Devido a uma grande variedade de fabricantes e fornecedores existem diversos tipos de engates de porta-fontes.

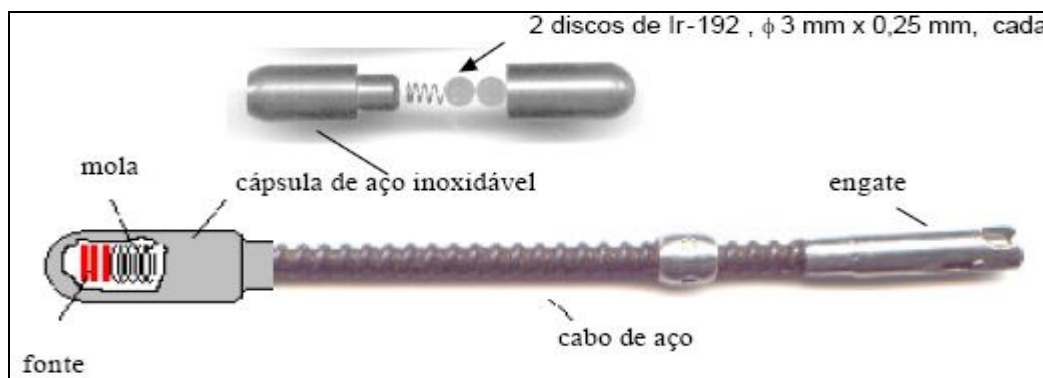


Figura 90 - Características das fontes seladas radioativas industriais.

### Características Físicas dos Irradiadores Gama:

Os irradiadores gama são equipamentos dotados de partes mecânicas que permitem expor com segurança a fonte radioativa. A principal parte do irradiador é a blindagem interna, que permite protecção ao operador a níveis aceitáveis para o trabalho, porém com risco de exposição radiológica se armazenado em locais não adequados ou protegidos.

O que mais diferencia um tipo de irradiador de outro são os dispositivos usados para se expor a fonte. Esses dispositivos podem ser mecânicos, com accionamento manual, eléctrico ou pneumático. A única característica que apresenta em comum é o facto de permitirem ao operador trabalhar sempre a uma distância segura da fonte, sem se expor ao feixe directo de radiação.

Os irradiadores gama são construídos através de rígidos controlos e testes estabelecidos por normas internacionais, pois o mesmo deve suportar choques mecânicos, incêndio e inundação sem que a sua estrutura e blindagem sofram rupturas capazes de deixar vazar radiação em qualquer ponto mais do que os máximos exigidos.

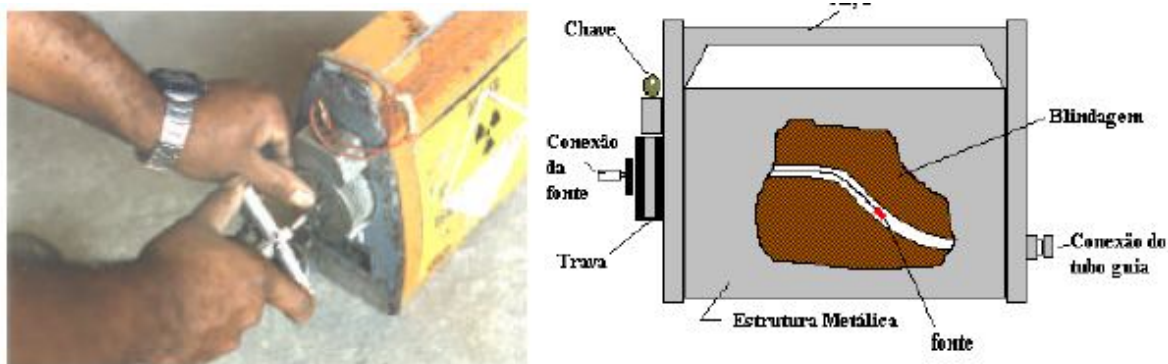


Figura 91 - Aparelho de gamagrafia industrial.

## Radioscopia Industrial

A radioscopia é um meio usado para se detectar a radiação que emerge da peça, numa tela fluorescente. As telas fluorescentes se baseiam no princípio que determinados sais (tungsténio de cálcio, por exemplo), possuem a propriedade de emitir luz em intensidade mais ou menos proporcional à intensidade de radiação que incide sobre eles.

A radiação é emitida de um tubo de raios X, colocado no interior de um gabinete blindado, atravessando a peça e indo atingir uma tela fluorescente. Este, por sua vez, transforma as intensidades de radiação que emergem da peça em luz de diferentes intensidades, formando na tela a imagem da peça. Essa imagem, reflectida em um espelho, é examinada pelo inspector, a procura de possíveis defeitos.

A radioscopia é usada principalmente, no exame de pequenas peças, com espessura baixa. Sua grande vantagem reside na rapidez do ensaio e no seu baixo custo. Em contrapartida, apresenta duas limitações importantes:

- Não é possível se inspeccionar peças de grande espessura ou de alto número atômico, pois nesse caso a intensidade dos Raios X não seria suficientemente alta para produzir uma imagem clara sobre a tela fluorescente.
- Devido às características próprias das telas fluorescentes e à baixa distância foco/tela, usada, a qualidade de imagem na fluoroscopia não é tão boa quanto a da radiografia.
- A radioscopia, com imagem visualizada directamente na tela fluorescente, não fornece um registro que documente o ensaio executado,

tão pouco permite a localização precisa na peça das áreas que contém descontinuidades inaceitáveis.

Como foi acima descrito, a observação da imagem pelo inspetor é feita directamente na tela fluorescente, ou por reflexão num espelho. Entretanto tal procedimento pode muitas vezes ser perigoso para o operador, pois o mesmo leva muitas horas para a inspecção de componentes de fabricação seriada, principalmente, sendo obrigatório nesses casos a sua substituição após um período de trabalho.

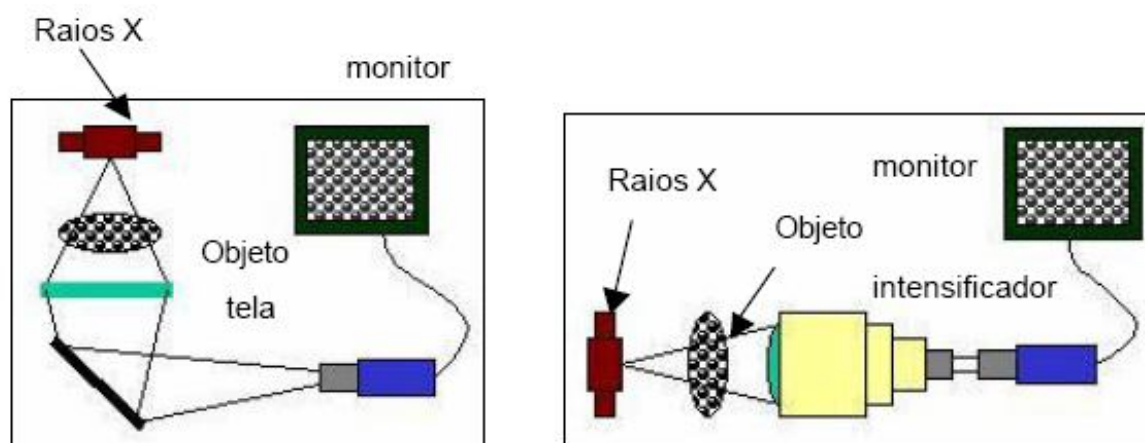


Figura 92 - Sist. com monitor fluorescente e câmara.

Os sistemas de TV foram criados para eliminar totalmente os problemas de radioprotecção mencionados, pois a captação da imagem, feita directamente da tela fluorescente, é procedida mediante a utilização do circuito interno de TV, ou seja uma câmara de TV de alta sensibilidade, ligada a um monitor de alta resolução. Deste modo o operador ou inspetor visualiza a imagem no monitor de TV, distante o suficiente para garantir sua segurança radiológica, podendo ainda, caso necessário, registrar as imagens produzidas em vídeo cassete.



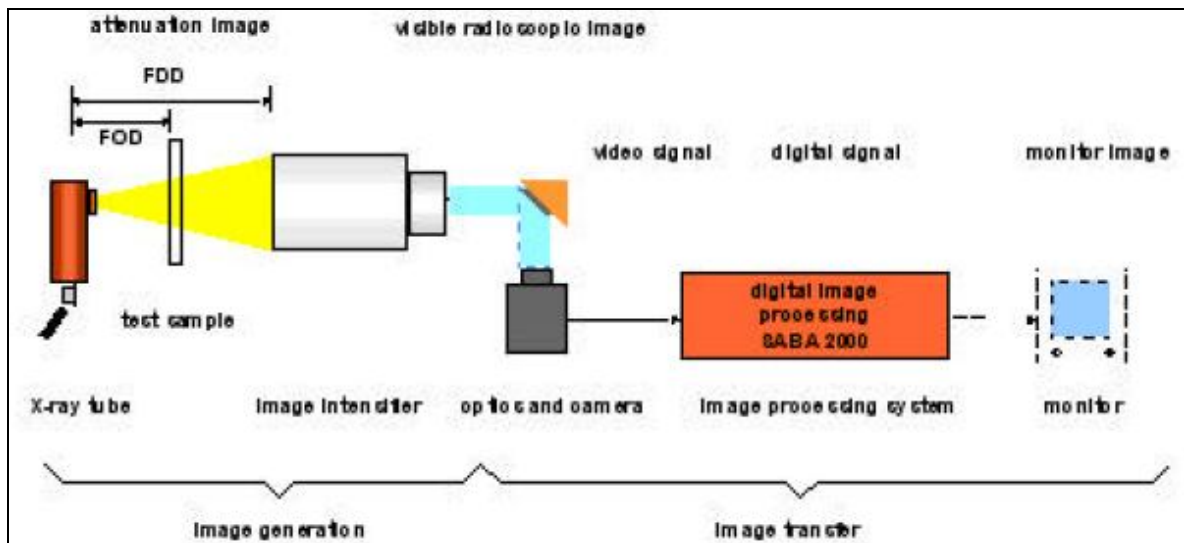


Figura 93 - Sistema de radioscopia utilizando intensificadores com câmara TV.

## Tomografia Industrial

A tomografia industrial também pode ser considerada como um método de inspeção não destrutiva que não utiliza o filme radiográfico para registro dos resultados, assim como na radioscopia convencional.

Nesta técnica, a peça é exposta a um feixe estreito de Raios X giratório que atravessa a peça em vários planos, projectando sua imagem processada por computador, num monitor. Este processo é feito por um complexo sistema que permite visualizar a imagem de uma peça em 3D e permite separar por planos ou camadas a peça.

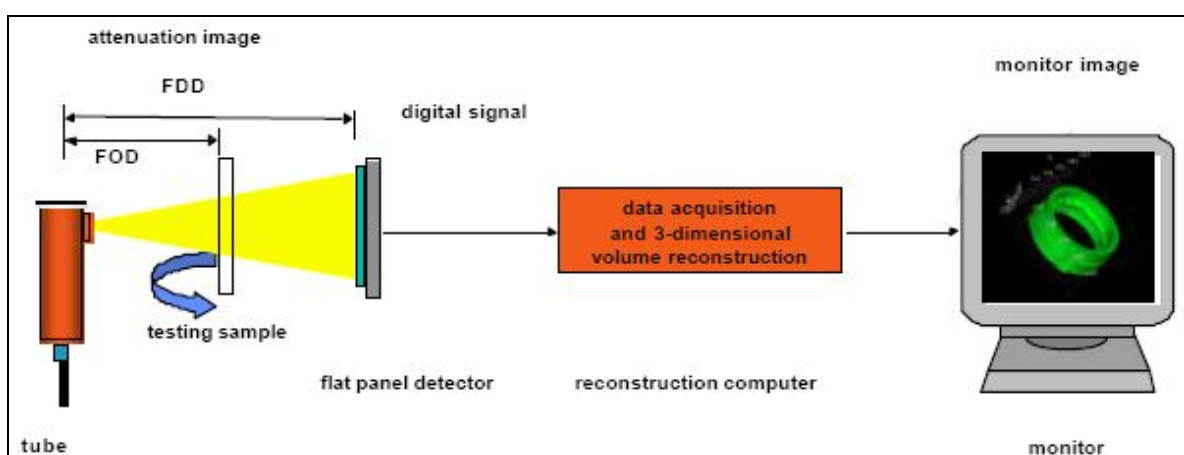


Figura 94- Sistema de inspeção por tomografia industrial.

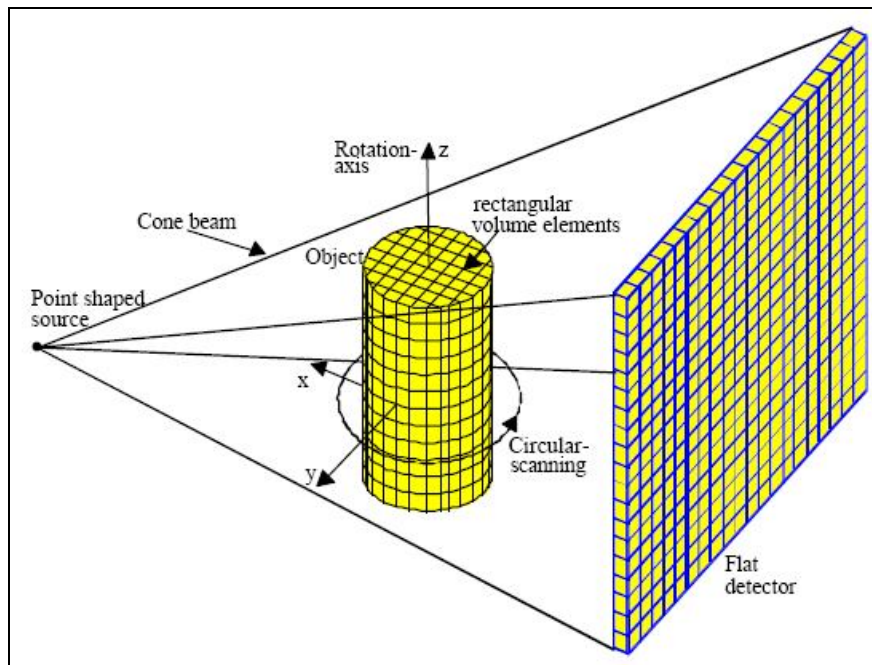


Figura 95 - Princípio de formação de imagem tomográfica.

A sequência seguinte mostra o corpo de uma bomba de alumínio, inspeccionada por tomografia. A figura seguinte mostra a projecção no plano da imagem da peça e à direita o defeito interno.

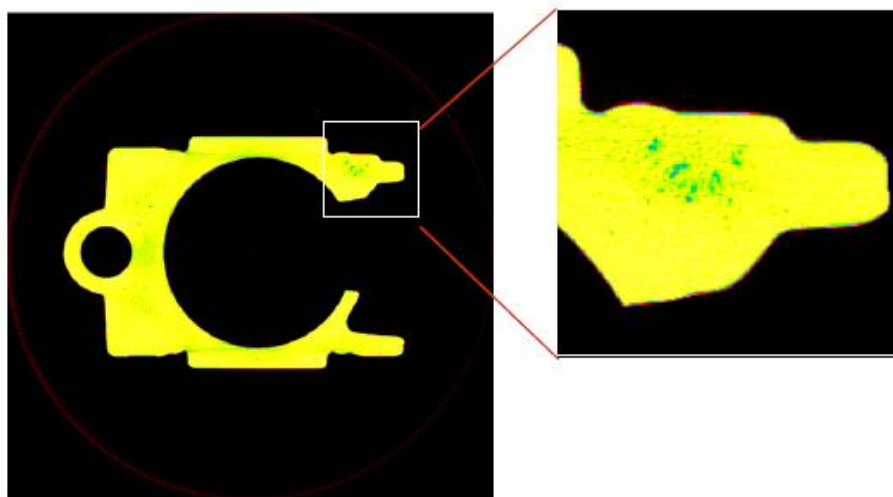


Figura 96 - Imagem tomográfica.

A sequência a seguir é a imagem volumétrica tomográfica da mesma peça usando Raios-X de 225 kV e 1,5 mA, de uma caixa de bomba de alumínio, mostrando

na primeira imagem a peça inteira e na segunda o corte tomográfico, indicando por um círculo a presença de um defeito interno.

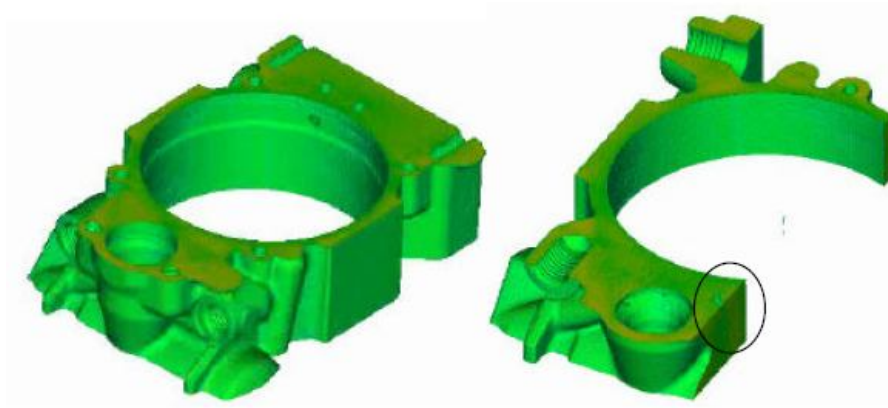


Figura 97 - Imagem tomográfica.

## 6. ENSAIO VISUAL

A inspecção por meio do Ensaio Visual é uma das mais antigas actividades nos sectores industriais, sendo o primeiro ensaio não destrutivo aplicado em qualquer tipo de peça ou componente, estando frequentemente associado a outros ensaios de materiais.

Utilizando uma avançada tecnologia, a inspecção visual é hoje um importante recurso na verificação de alterações dimensionais, padrão de acabamento superficial e na observação de descontinuidades superficiais visuais em materiais e produtos em geral, tais como trincas, corrosão, deformação, alinhamento, cavidades, porosidade, montagem de sistemas mecânicos e muitos outros.

Na inspecção de peças ou componentes que não permitam o acesso directo interno para sua verificação (dentro de blocos de motores, turbinas, bombas, tubulações, etc.), utilizam-se fibras ópticas conectadas a espelhos ou micro-câmaras de TV com alta resolução, para além de sistemas de iluminação, fazendo a imagem aparecer em oculares ou num monitor de TV. São soluções simples e eficientes, conhecidas como técnica de inspecção visual remota.

Na aviação, o ensaio visual é a principal ferramenta para inspecção de componentes para verificação da sua condição de operação e manutenção.



**Figura 98 - Ensaio visual utilizado na aviação.**

Não existe nenhum processo industrial em que a inspecção visual não esteja presente. Simplicidade de realização e baixo custo operacional são as características deste método, mas que mesmo assim requer uma técnica apurada, obedecendo a determinados requisitos básicos que devem ser conhecidos e correctamente aplicados.

A avaliação básica de componentes corresponde à sua observação visual directa (IV de Inspecção Visual). Esta observação pode ser efectuada quer a "olho nu" quer com o auxílio de lentes amplificadoras. Estas lentes podem ser de diferente poder de amplificação, de acordo com o critério instituído para a avaliação e a zona a avaliar. Em muitos casos a simples observação a "olho nu" permite detectar uma grande gama de defeitos que merecem uma acção de reparação. Noutras situações, esta observação deve ser complementada com o auxílio de lentes ou através de um outro método.



**Figura 99 - Ensaio visual utilizado no fabrico de garrafas de mergulho.**

Uma aplicação particular dum método visual por ampliação e simultaneamente requerendo grande sensibilidade tátil é a inspecção de rolamentos. Estes componentes são considerados críticos, uma vez que suportam grandes esforços e são o suporte dos conjuntos rotativos. A eventual existência de pequenas indentações, micro-focos de corrosão, riscos ou deformação superficial nas áreas de contacto (que se resumem sempre a pontos ou linhas, tratando-se de esferas ou roletes, respectivamente, nas superfícies dos passeios internos e externos e nas esferas ou roletes) é motivo para originar vibrações no motor durante o seu funcionamento, e induzir esforços noutros componentes, podendo até originar o colapso do próprio rolamento, pelo que a sensibilidade tátil e a perícia visual dos inspectores que realizam estas funções é fundamental. Evidentemente que a inspecção de rolamentos não se resume a este tipo de verificação. Também são usados outros END para avaliar estes componentes.

Este tipo de inspecção é principalmente empregue no decurso de operações de desmontagem em que se efectua a primeira triagem de componentes com eventuais defeitos.

## 7. ESTANQUEIDADE

A necessidade de uma perfeita estanqueidade em tanques ou tubulações contendo substâncias tóxicas que façam parte de instalações de alto risco (área química, nuclear, aeroespacial, etc.), proporcionou utilização de novos métodos capazes de detectar possíveis vazamentos de gás ou líquidos, a fim de obter uma garantia efectiva de segurança e protecção ambiental.

Os métodos aplicados no ensaio de estanqueidade são: método da medição da Pressão ou Vácuo com alta precisão, método da Bolha, método da Variação de Pressão, detecção de vazamento por meio de Fluido Frigorígeno ou de aplicação de gás Hélio com o respectivo aparelho detector e, modernamente, a localização de vazamentos de gases e líquidos por ultra-som.



Figura 100 - Exemplo de aplicação de ensaio de estanquidade.

Uma das ameaças mais comuns ao meio ambiente, além de provocar acidentes, seja na área industrial, doméstica ou pública são os vazamentos de produtos perigosos, que quando armazenados em tanques ou recipientes com falhas estruturais, produzem vazamentos de líquidos ou gases inflamáveis (indústria petrolífera), ácidos ou produtos corrosivos (indústria química), no sector de transportes (rodoviário, ferroviário e por tubulações), e tantos outros.

Portanto, como medida preventiva, no sentido de evitar tais ocorrências, o Ensaio de Estanqueidade tem sido largamente empregue em testes de componentes pressurizados ou despressurizados onde existe o risco de escape ou penetração de produtos, comprometendo o sistema de contenção, assumindo desta maneira, uma importância muito grande quando se trata da protecção ao meio ambiente, onde a flora e fauna e ainda pessoas ou populações podem ser atingidas seriamente.

## **8. ENSAIO POR LÍQUIDOS PENETRANTES**

O ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de discontinuidades superficiais, tais como trincas, poros, dobras, etc., podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira.

É muito utilizado em materiais não magnéticos como o alumínio, o magnésio, aços inoxidáveis austeníticos, ligas de titânio, zircónio, além de outros materiais não-magnéticos.

Este método iniciou-se antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspecção de eixos, porém só conheceu grande evolução em 1942, nos EUA, quando foi desenvolvido o método de penetrantes fluorescentes. Nesta época, o ensaio foi adoptado pelas indústrias aeronáuticas, que trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam de um método de detecção de defeitos superficiais diferente do ensaio por partículas magnéticas (não aplicável a materiais não magnéticos). A partir da segunda guerra mundial, o método foi-se desenvolvendo através da pesquisa e do desenvolvimento de novos produtos utilizados no ensaio.





Figura 101 - Exemplo e aplicação dos líquidos penetrantes.

## Princípios básicos

O método consiste em fazer penetrar, na abertura da descontinuidade, um líquido por ação da capilaridade. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície.

Este método pode ser simplesmente descritos em seis passos, que são:

### 1. Preparação da superfície - Limpeza inicial:

Antes de se iniciar o ensaio, a superfície deve ser limpa e seca. Não devem existir água, óleo ou outro qualquer contaminante. O excesso destes elementos corrompe a validade dos resultados;

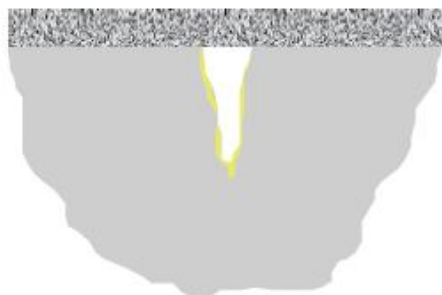


Figura 102 - Preparação e limpeza inicial da superfície.



## 2. Aplicação do Penetrante:

Consiste na aplicação de um líquido chamado penetrante, geralmente de cor vermelha, de modo a formar um filme sobre a superfície e que por acção do fenómeno chamado capilaridade penetre na descontinuidade. Deve ser dado um certo tempo para que a penetração se complete.



Figura 103 - Penetração do líquido na descontinuidade.

## 3. Remoção do excesso de penetrante:

Consiste na remoção do excesso de penetrante da superfície, através de produtos adequados, condizentes com o tipo de líquido penetrante aplicado, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo na superfície.

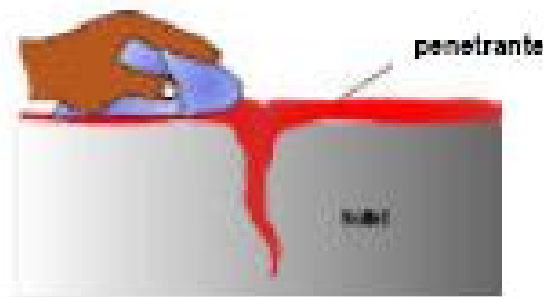


Figura 104 - Remoção do excesso de líquido da superfície.

## 4. Revelação:

Consiste na aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície. O revelador é usualmente um pó fino (talco) branco. Pode ser aplicado seco ou em suspensão, em algum líquido. O revelador age absorvendo o penetrante das

descontinuidades e revelando-as. Deve ser previsto um determinado tempo de revelação para sucesso do ensaio.



Figura 105 - Aplicação do revelador e observação da indicação.

#### 5. Avaliação e Inspeção:

Após a aplicação do revelador, as indicações começam a serem observadas, através da mancha causada pela absorção do penetrante contido nas aberturas, e que serão objectos de avaliação. A inspecção deve ser feita sob boas condições de luminosidade, se o penetrante é do tipo visível (cor contrastante com o revelador) ou sob luz negra, em área escurecida, caso o penetrante seja fluorescente.

A interpretação dos resultados deve ser baseada no Código de fabrico da peça ou na norma aplicável ou ainda na especificação técnica do Cliente. Nesta etapa deve ser preparado um relatório escrito que mostre as condições do ensaio, tipo e identificação da peça ensaiada, resultado da inspecção e condição de aprovação ou rejeição da peça.

Em geral a etapa de registo das indicações é bastante demorada e complexa, quando a peça mostra muitos defeitos. Portanto, a reparação imediata das indicações rejeitadas seguida de novo ensaio, é mais recomendável.

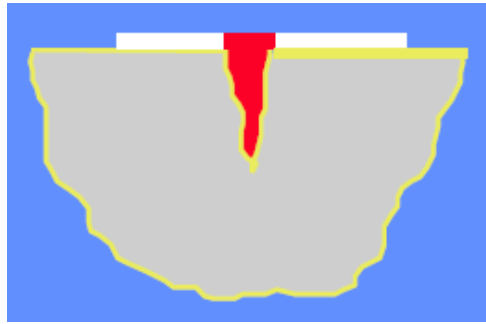


Figura 106 - Absorção do líquido pelo revelador.

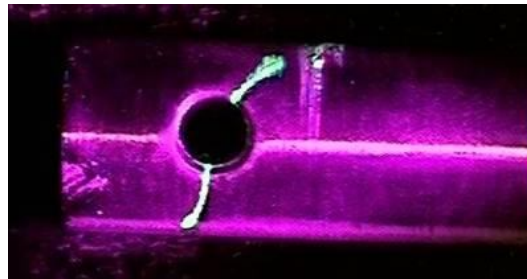


Figura 107 - Visualização de um defeito sob luz ultravioleta.

#### 6. Limpeza pós ensaio:

A última etapa, geralmente obrigatória, é a limpeza de todos os resíduos de produtos, que podem prejudicar uma possível etapa posterior de trabalho da peça (soldadura, maquinagem, etc.).

#### **Vantagens deste método:**

- É capaz de ensaiar peças de tamanhos e formas variadas, bem como pequenas áreas isoladas numa superfície;
- É capaz de detectar discontinuidades muito pequenas, sendo um dos ensaios mais sensíveis para detectar discontinuidades superficiais;
- Pode ser aplicado em materiais ferrosos, não ferrosos, cerâmicas de alta densidade, vidros e etc., desde que não sejam porosos;
- É relativamente barato e não requer equipamentos sofisticados. Para uma pequena quantidade de peças ou pequenas regiões, pode utilizar-se um sistema portátil;
- O líquido penetrante fornece uma indicação ampliada da discontinuidade, tornando-a mais visível;

- As descontinuidades detectadas são analisadas quanto à sua localização, orientação, dimensões, tornando fácil a interpretação e avaliação;
- As instalações podem ser adaptadas ao tamanho e quantidade de peças;
- Permite automatização do sistema;
- A sensibilidade do ensaio pode ser ajustada, seleccionando os materiais e técnicas de ensaio.



**Figura 108 - Visualização de uma descontinuidade.**

#### **Desvantagens deste método:**

- As peças devem estar completamente limpas e a entrada das possíveis descontinuidades desobstruídas;
- Os produtos utilizados no ensaio podem danificar alguns materiais ou ficarem permanentemente retidos em materiais porosos;
- Alguns produtos utilizados podem conter enxofre ou compostos halogéneos (cloretos, fluoretos, brometos e iodetos). Estes compostos podem causar fragilização ou trincas em aços inoxidáveis austeníticos se não forem completamente removidos antes de tratamentos térmicos ou exposição a altas temperaturas. Podem também causar corrosão em ligas de titânio se não forem completamente removidos após o ensaio e a peça for exposta a altas temperaturas;
- Os produtos utilizados podem causar irritação na pele se manuseados sem luvas;
- A luz negra deve ser usada mantendo-se os cuidados com os olhos e pele.



Figura 109 - Dispositivo de visualização de raios ultravioletas.

## 9. SHEAROGRAFIA

Este método de END destina-se a avaliar essencialmente estruturas de material compósito, constituídas por estruturas tipo "ninho de abelha" e revestimentos de natureza laminar aplicados sobre superfícies. Neste tipo de estrutura existe sempre uma parede interior e uma exterior que apertam entre si a estrutura "ninho de abelha". Todas estas estruturas são coladas entre si, sendo, portanto, possível que se descolem, ainda que apenas localizado. São cada vez mais utilizadas estruturas deste tipo em "cárteres" não resistentes de motores. O método consiste na detecção de zonas deformadas na vizinhança de áreas de forte concentração de tensões originadas pela presença de fissuras e quando sujeitas a esforços induzidos (vácuo, térmicos ou vibração).



Figura 110 - Equipamento de Shearografia.

A deformação plana da área defeituosa é detectada através de uma técnica de inter-ferometria óptica baseada em laser. Esta técnica é complementada com processos de tratamento de informação, dando origem à inter-ferometria holográfica, através da qual é possível obter-se uma imagem virtual da área a inspeccionar onde são identificados os defeitos detectados.

A grande vantagem deste END relativamente aos END convencionais resulta da ausência de qualquer contacto entre o equipamento utilizado e a superfície a avaliar (o que permite uma maior taxa de inspecção e, portanto, maior produtividade) e proporciona uma indicação directa da extensão e da gravidade dos defeitos encontrados, uma vez que os identifica através dos seus efeitos e da concentração de tensões resultante. A sensibilidade deste método permite medir deformações até uma dimensão de 10 nm (0.000010 mm).

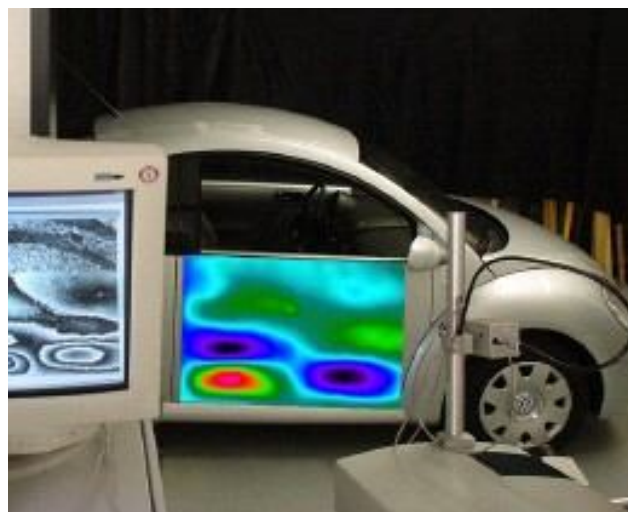


Figura 111 - Forma de efectuar o ensaio de shareografia.

## 10. TERMOGRAFIA

A inspecção termográfica (Termografia) é uma técnica não destrutiva que utiliza os raios infravermelhos para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, com o objectivo de proporcionar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo. Em qualquer dos sistemas de manutenção considerados, a termografia apresenta-se como uma técnica de inspecção extremamente útil, uma vez que permite: realizar medições sem contacto

físico com a instalação (segurança); verificar equipamentos em pleno funcionamento (sem interferência na produção); e inspeccionar grandes superfícies em pouco tempo (alto rendimento).



Figura 112 - Imagem de um gato vista por um aparelho de termografia.

Os aplicativos desenvolvidos para a análise posterior das informações termográficas obtidas, como a classificação de componentes eléctricos defeituosos, avaliação da espessura de revestimentos e o cálculo de trocas térmicas, permitem que esses dados sejam empregues em análises preventivas.

Como exemplos de aplicações da termografia temos, manutenção preventiva dos sistemas eléctricos de empresas geradoras, distribuidoras e transmissoras de energia eléctrica; monitorização de sistemas mecânicos como rolamentos e mancais; vazamentos de vapor em plantas industriais; análise de isolamentos térmicos e refractários; monitorização de processos produtivos do vidro e de papel; acompanhamento de performance de placas e circuitos electrónicos; pesquisas científicas de trocas térmicas, entre outras possibilidades.



Figura 113 - Exemplo de aplicação deste tipo de ensaio.

Na indústria automóvel é utilizada no desenvolvimento e estudo do comportamento de pneumáticos, desembaciar do pára-brisas traseiro, no turbo, nos travões, no sistema de refrigeração, etc. Na siderurgia tem aplicação no levantamento do perfil térmico dos fundidos durante a solidificação, na inspecção de revestimentos refractários dos fornos. A indústria química emprega a termografia para a optimização do processo e no controlo dos reactores e torres de refrigeração, a engenharia civil inclui a avaliação do isolamento térmico de edifícios e determina detalhes construtivos das construções como, vazamentos, etc.

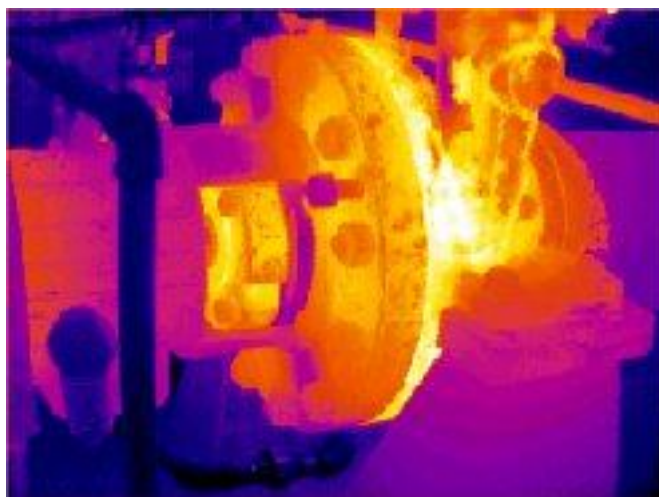


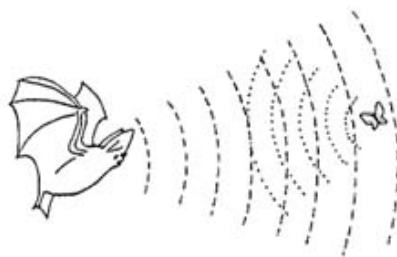
Figura 114 - Resultado de um ensaio de termografia.



## ANEXO B: Aplicações dos ultra-sons.

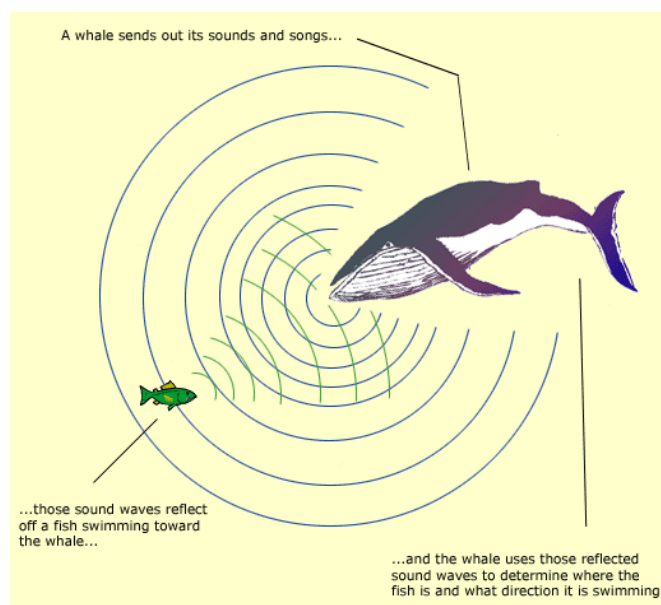
### 1. Ecolocalização.

A ecolocalização, também chamada de “*biosonar*” é uma capacidade natural, encontrada em golfinhos e morcegos. Como o próprio nome sugere, os ultra-sons para o auxílio da locomoção e para a captura de presas.



**Figura 115 - Esquema da ecolocalização de um morcego, no qual ele usa os ultra-sons para localizar as suas presas e para auxílio da sua própria locomoção.**

Como os morcegos são uns animais que se movimentam de noite, e por possuírem uma visão pouco adequada para os meios onde voam, eles auxiliam-se da ecolocalização para detectar objectos na sua trajetória e para detectar alimento.



**Figura 116 - Esquema da ecolocalização dos golfinhos, no qual está representada a forma como localiza o seu alimento e como emite o ultra-som.**

A figura acima demonstra de uma forma simples a forma como as baleias ou golfinhos se auxiliam da ecolocalização para apanharem peixe e se movimentarem no fundo do oceano sem colidirem contra qualquer objecto.

A partir do estudo do bisonar, os seres humanos desenvolveram a “*ecolocalização artificial*”, como o advento do radar, sonar e aparelhos de ultrasonografia. Na realidade, nenhum desses aparelhos se compara à qualidade e perfeição da ecolocalização dos animais.

## 2. SONAR.

Foi construído no final de 1ª guerra mundial pelo físico francês Paul Langevin. A sua finalidade era a de detectar submarinos alemães, contudo hoje em dia serve para a navegação de navios, para obter o perfil do fundo do mar, revelar a presença de cardumes, entre outras funcionalidades.

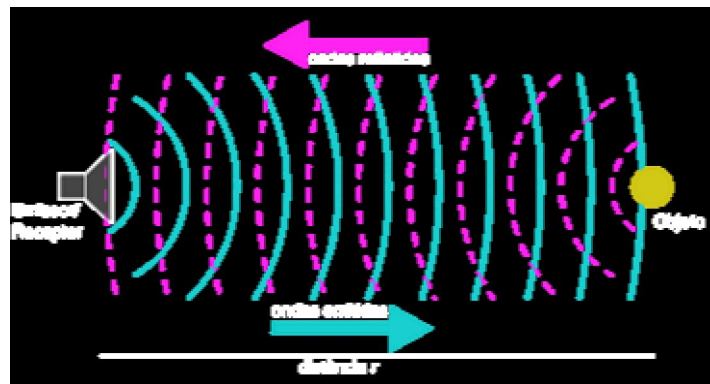


Figura 117 - Esquema simplificado da forma de funcionamento o SONAR.

O sonar (do inglês **SO**und **N**avigation **A**nd **R**anging) é um aparelho capaz de emitir ondas sónicas de frequências elevadas. Com a captação dos ecos das ondas reflectidas consegue-se verificar a posição de objectos submersos ou de cardumes. Isto só é possível pela medição do tempo entre a emissão do ultra-som e a recepção do respectivo eco.

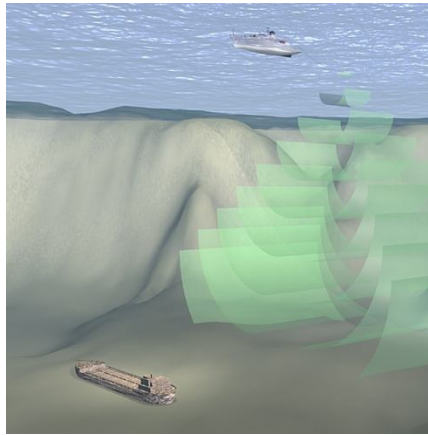


Figura 118 - Imagem referente ao modo de funcionamento de uma das aplicações de um SONAR.

### 3. Soldadura por ultra-sons.

Como é referido no título, esta aplicação trata da soldadura de plásticos por ultra-sons. Estes tipos de soldaduras são compostos por duas partes fundamentais, uma parte eléctrica (gerador), uma parte acústica (grupo de vibração). Ambas as partes devem trabalhar em perfeita sintonia.

Assim o gerador cria uma série de impulsos regulares e perfeitos entre si, a parte acústica transforma-os em vibrações.

O utensílio que efectua a soldadura (que se costuma chamar de sonótrodo) vibra com uma frequência igual à emitida pelo gerador. Este componente é o responsável pela transmissão das vibrações à peça de plástico, a qual começará a fundir. Por outro lado é muito importante que o sonotrodo permaneça frio para que a peça plástica não aqueça mantendo assim as suas propriedades iniciais.



Figura 119 - Aparelho de soldadura por ultra-sons.

Normalmente são utilizadas frequências de 20/40 kHz nas aplicações mais comuns. Claro que quanto maior for a frequência mais baixa será a potencia máxima utilizável.

O sonodromo é uma peça de metal que aumenta ou diminui de comprimento a uma frequência de 20 ou mais Hz e com uma amplitude de alguns microns.

É necessário distinguir dois tipos de soldadura: a rebitagem e soldadura propriamente dita. Na rebitagem provoca-se a fusão de uma massa de material, moldando-o como a cabeça de um rebite. Servindo para unir materiais diferentes como é o caso do plástico e o metal.

Normalmente este tipo de soldadura é utilizado para componentes obtidos através da moldação mediante injeção e termo-moldação.

Por outro lado, na soldadura é necessário conhecer todos os parâmetros da peça que deve ser unida.



Figura 120 - Tipos de peças soldadas através do recurso aos ultra-sons.

#### 4. Equipamento de Limpeza.

A limpeza por ultra-sons é uma forma de limpar uma variedade elevada de materiais de uma forma rápida, segura e sem recurso a solventes tóxicos.



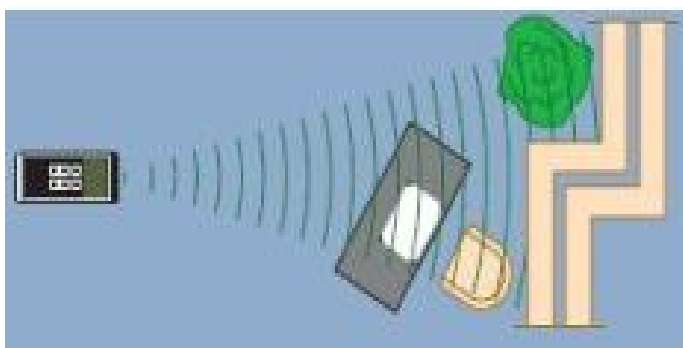
**Figura 121 - Aparelho de limpeza com o recurso aos ultra-sons.**

Este tipo de aparelho funciona através de um processo chamado “cavitação” no qual são formadas bolhas microscópicas que em seguida estouram libertando energia suficiente para dissolver qualquer tipo de detrito da superfície. Estas bolhas são formadas com o recurso aos ultra-sons. Este tipo de onda sónica provoca a agitação das moléculas da água e por consequência a sua evaporação, que não é mais que o fenómeno que está associado à cavitação.

## **5. Medidor de distâncias.**

Apesar de a medição de distâncias ser uma das aplicações deste tipo de ondas, como qualquer aparelho possui as suas limitações.

Num medidor por ultra-sons, as medidas podem ser afectadas por obstáculos existentes na zona de medição, o que não acontece no caso de medidores laser. Este aparelho tem por base o princípio do SONAR, sendo que ele emite e recebe ondas sónicas. Ele calcula a distância sabendo o tempo entre a emissão e a captação das ondas reflectidas.



**Figura 122 - Aplicação de ondas ultra sónicas para medição de distâncias.**

## 6. Repelente de animais.

Como o ultra-som é inaudível para o ouvido humano ele pode ser utilizado como repelente de qualquer tipo de animal que consiga ouvir frequências elevadas. Este tipo de ondas sonoras é bastante doloroso para os sistemas auditivos dos animais, devido à sua elevada frequência.

Uma das grandes vantagens deste aparelho é o facto de ser muito compacto e ser inaudível pelo ser humano.



Figura 123 - Forma de um repelente de animais com recurso ao sistema de ultra-sons.

## 7. Aplicações Médicas.

### 7.1. Diagnóstico.

- Ecografias 2D.

É um método de diagnóstico que aproveita o eco produzido pelo som para ver em tempo real as reflexões produzidas pelas estruturas e órgãos do organismo. Os ecos gerados são interpretados através da computação gráfica. Quanto maior a frequência maior a resolução obtida. Conforme a densidade e composição das estruturas a atenuação e mudança de fase dos sinais emitidos varia, sendo possível a tradução em uma escala de cinza, que formará a imagem dos órgãos internos.

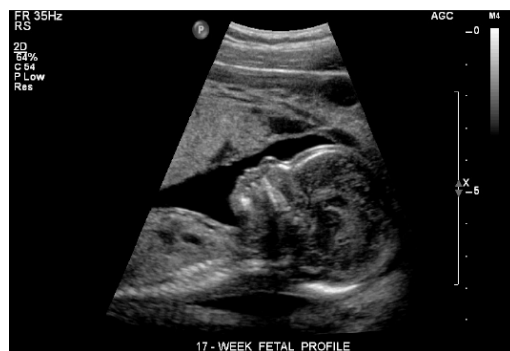


Figura 124 - Imagem referente ao resultado de uma ecografia 2D de um feto.

- Ecografias 3D.

Com o progressivo desenvolvimento das ecografias 2D e com um melhor tratamento do sinal obtido pelos transdutores, surgiram as ecografias 3D. Neste tipo de diagnóstico conseguem-se obter imagens como a que se encontra na ilustração 34, no qual se consegue ver pormenores dificilmente assimilados nas ecografias 2D.



Figura 125 - Imagem de uma ecografia 3D de um feto.

## 7.2. Terapêutico.

As ondas são uma série de compressões e rarefações mecânicas na direcção do trajecto da onda. A passagem dessas ondas provoca a “aproximação” e “separação” das moléculas, fazendo com que as moléculas se movimentem e libertem calor.

- Tratamento do cancro da próstata.

É um método de ultra-sons localizados no qual este tipo de ondas sonoras são localizadas num determinado ponto e profundidade no qual se emitem ondas sónicas que fazem rebentar as células do aneurisma.

- Efeito de Calor.

Esta finalidade é fundamental na reabilitação, sendo que o seu princípio é baseado na estimulação celular, promovendo o aumento da temperatura. Como consequência do aumento térmico, ocorre a vasodilatação que provoca o aumento do fluxo sanguíneo na zona afectada, o que favorece o aumento da nutrição tecidual, aumento da reabsorção de catabólitos.

- Reumatologia, em traumatologia.

O calor provocado pelos ultra-sons focalizados favorece a regeneração tecidual bem como o seu próprio reforço muscular da zona danificada.

É indicado para tratamento de lesões crónicas, degenerativas, fibrosas, cicatriciais, entre outras.

- Diminuição da dor.

Devido ao efeito térmico, que aumenta a irrigação sanguínea local, ocorre um aumento do metabolismo e consequente retirada de catabólitos, levando a uma diminuição da estimulação das terminações nervosas de dor local.

## **8. Ensaio não destrutivo.**

Em 1929, o cientista Sokolov fazia as primeiras aplicações da energia sónica para atravessar materiais metálicos, enquanto em 1942, Firestone, utilizara o princípio da eco-sonda ou ecobatímetro, para exames de materiais. Somente em 1945 o ensaio ultra-sónico iniciou a sua caminhada em escala industrial, impulsionado pelas necessidades e responsabilidades cada vez maiores. Hoje, na indústria moderna, principalmente nas áreas de caldeiraria e estruturas marítimas, o exame ultra-sónico, constitui uma ferramenta indispensável para garantia da qualidade de peças de grandes espessuras, geometria complexa de juntas soldadas, chapas, etc.

Na maioria dos casos, os ensaios são aplicados em aços ao carbono, todavia, estes ensaios também se aplicam em aços inoxidáveis. Materiais não ferrosos são difíceis de serem examinados, e requerem procedimentos especiais.



## Anexo C: Fenómenos sónicos.

A onda sónica ao percorrer um material qualquer sofre, na sua trajectória, efeitos de dispersão e absorção, resultando na redução da sua energia. Assim podemos definir os seguintes fenómenos sónicos:

- **Difracção.**

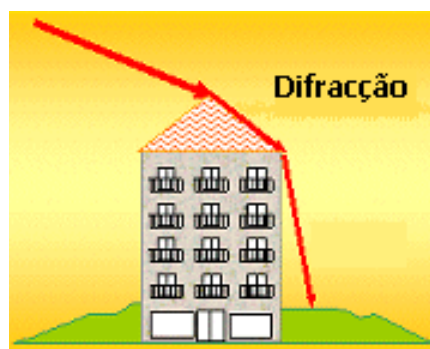


Figura 126 - Fenómeno de difracção de ondas sonoras.

É o fenómeno de espalhamento de ondas, por exemplo quando atravessam uma fenda de tamanho equivalente ao seu comprimento de onda ( $\lambda$ ). Ondas com baixo comprimento de onda são facilmente difractadas.

- **Reflexão**

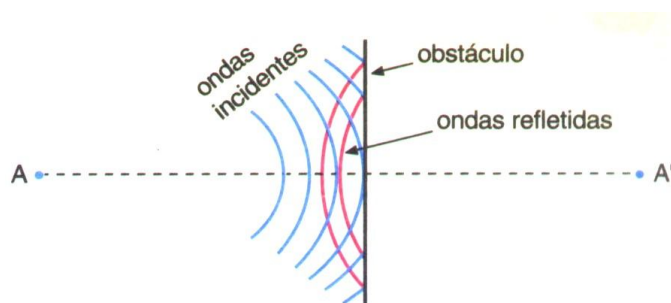


Figura 127 - Esquema sobre ocorre a reflexão de ondas.

Acontece quando a onda volta pela direcção de onde foi emitida, isto devido a ter embatido com um material reflectivo.

- **Refracção**

A refração trata da mudança de direcção das ondas, devido à entrada num meio diferente. A velocidade da onda varia de meio para meio, pelo que o comprimento de onda também varia, mas a frequência permanece sempre igual.

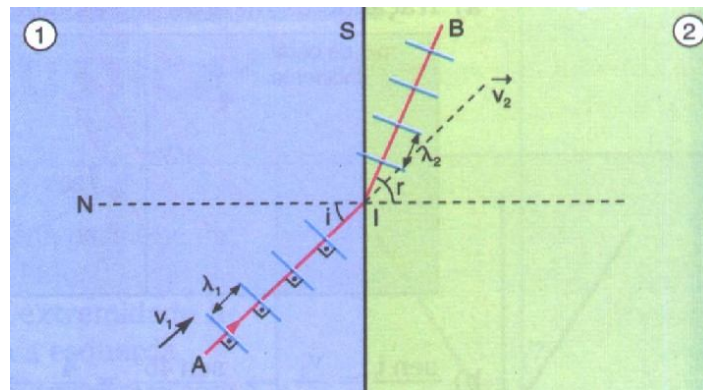


Figura 128 - Esquema de uma refração de ondas sonoras entre dois meios de propriedades diferentes.

Caso a onda entrar num meio diferente ao que ela inicialmente se propagava, o comprimento de onda vai-se alterar. Mas se depois ela voltar o meio inicial ela volta a ter as mesmas características.

- **Interferências**

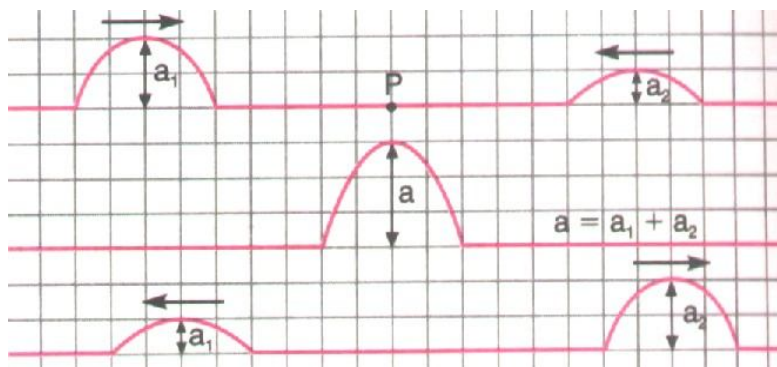


Figura 129 - Esquema da interferência de várias ondas num determinado ponto.

É a consequência da sobreposição de ondas sonoras. Quando duas fontes sonoras, ao mesmo tempo e num mesmo ponto, e de ondas concordantes, os seus efeitos

somam-se, mas caso elas não forem concordantes vai ocorrer uma atenuação da onda final devido a elas serem de sinais opostos.

- **Dispersão**

Trata-se da separação de uma onda em outras ondas de frequências diferentes. Isto deve-se ao facto da matéria não ser totalmente homogénea, contem interfaces naturais na sua própria estrutura ou resultantes do seu processo de fabricação. Por exemplo, fundidos, que apresentam grãos de grafite e ferrite com propriedades elásticas distintas. Para esta mudança das características elásticas de ponto num mesmo material denominamos anisotropia, que é mais significativo quando o tamanho de grão for 1/10 do comprimento de onda.

- **Efeito de Doppler**

Este efeito é consequência do movimento relativo entre o observador e a fonte sonora, o que determina uma modificação aparente da amplitude do som recebido pelo observador.

O efeito de Doppler ocorre quando um som é gerado ou reflectido por um objecto em movimento.

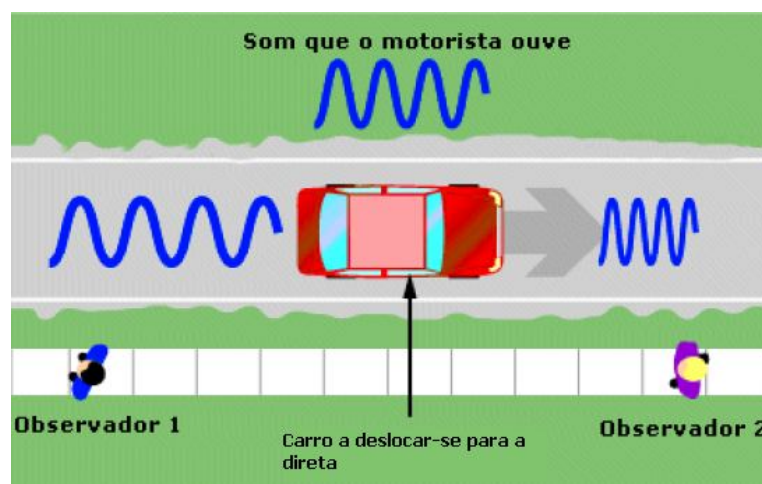



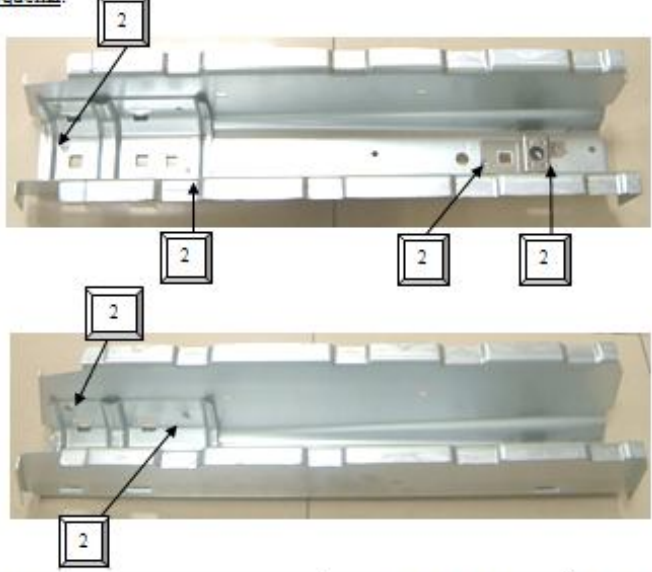


Figura 130 - Esquema explícito sobre o efeito de Doppler.

- **Absorção**

O fenómeno da absorção ocorre sempre que uma vibração acústica percorre um meio elástico. É a energia cedida pela onda para que cada partícula do meio execute um movimento oscilatório, transmitindo a vibração às outras partículas do mesmo meio.



Portanto, o resultado dos efeitos de dispersão e absorção, quando somados, resultam na atenuação sónica. Na prática, este fenómeno poderá ser visualizado quando observamos na tela do aparelho de ultra-som, vários ecos de reflexão de fundo provenientes de uma peça com superfícies paralelas. As alturas dos ecos diminuem com a distância percorrida pela onda.

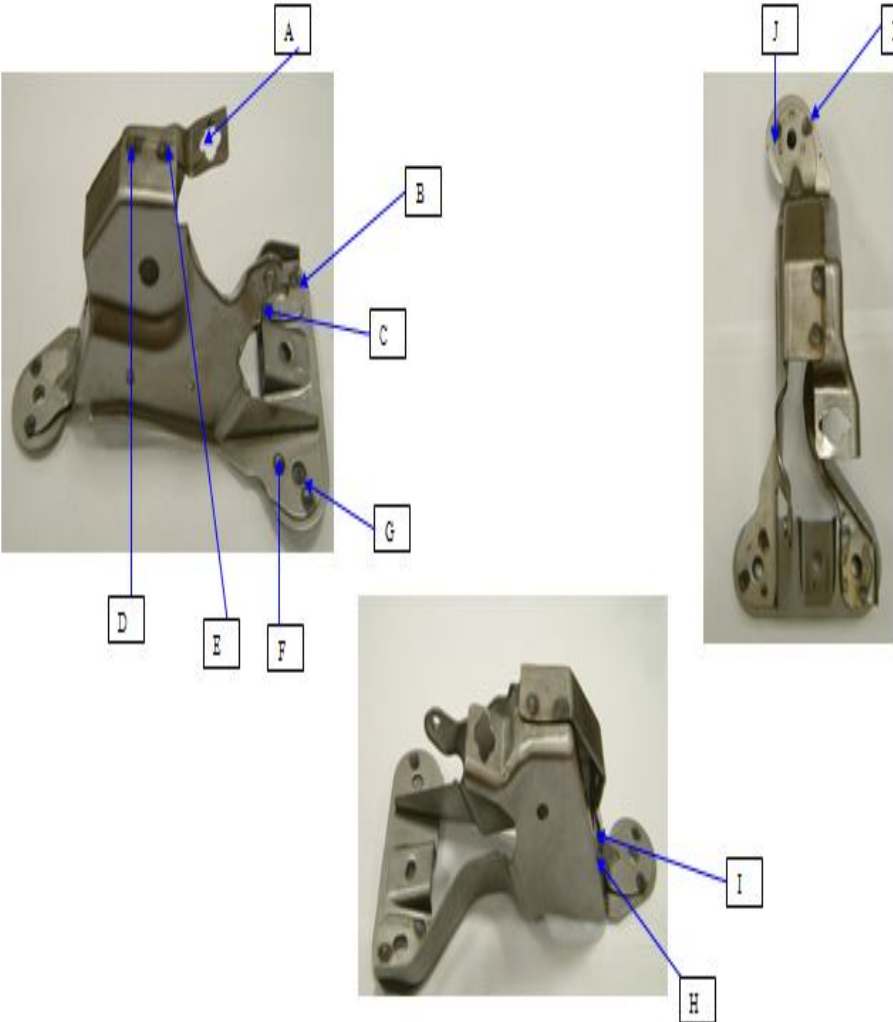
## Anexo D: Gamas de controlo por ultra-sons de peças com pontos de soldadura.

				<b>GAMA DE CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDADURA POR ULTRA-SONS</b>		Referência SAP <b>S816030V00</b>	Referência Cliente <b>9681603080</b>	Denominação: <b>Traverse AR Assise AV D ASS</b>	
<b>Operação: OP S20 SOLDADURA POR PONTOS</b>				Peças: <b>E803946V20</b> <b>E816057V20</b>		<b>E803948V20</b>		Ref. SAP Componente: <b>Z816078VTU</b>	
Modificação	Índice	Data	Rubrica	<b>Esquema:</b> 				Processo	
Criação	OR-00	13/10/06						Recepção de Matéria-prima	
Rev. da docum.	OR-00	22/03/07						<b>OP S20 SOLDADURA POR PONTOS</b>	
Act. Tolerâncias	B-02	15/09/07						Armazém	
Observações:								Observações de Embalagem:	
									
Nº	Característica			Meio Controle	Preparação (NII)	Autocontrolo (NII)	Auditoria (NII)		
1	Conformidade Posto Trabalho: Mat. Prima, Contadores, Meios Controle.			Visual	No arranque	No arranque	No arranque		
	Registos: Matéria-prima, Autocontrolo, Arranque, Controle Volante.			Visual	5 peças no arranque	1 peça/300 peças	1 peças/ 8 horas		
	Ausência de rebarbas excessivas, deformações, falta de material, fissuras.			Visual	5 peças no arranque	1 peça/300 peças	1 peças/ 8 horas		
2	Verificar a conformidade do ponto de soldadura através dos ultra-sons.			Banca de Ultra-sons	5 peças no arranque	1 peça/300 peças	1 peças/ 8 horas		
3	Efectuar o ensaio destrutivo nos 6 pontos de soldadura (arrancamento de material)			Banca de ensaios + Martelo + Punção	5 peças no arranque	1 peça/300 peças	1 peças/ 8 horas		

PO2.2.15\_A\_INPR\_Gama de Controle em Processo-Soldadura

Anexo E: Gamas de controlo por ultra-sons de caixas de pedaleiras.

	<b>GAMA DE CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDADURA POR ULTRA-SONS</b>	Referência SAP: S102197V20 S102197V30	Referência Cliente: S001021X74 S001021X97	Denominação: <b>ENS SUPPORT DEBRAYAGE DAD</b>
Operação: <b>ENSAIO DE SOLDADURA</b>		Peças S. R. : 	Peças/Cont.:	Emb.:



PARÂMETROS A CONTROLAR VER FOLHA 2

POU 2.1.17\_A\_DGPR\_Gama de Controlo em Processo Soldadura de Pedaleiras



	<b>GAMA DE CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDADURA POR ULTRA-SONS</b>	Referência SAP: <b>S102197V20</b> <b>S102197V30</b>	Referência Cliente: <b>S001021X74</b> <b>S001021X97</b>	Denominação: <b>ENS SUPPORT DEBRAYAGE DAD</b>
---	---	---	---	--

FOLHA 1

Operação: ENSAIO DE SOLDADURA	Peças S / R : 		Peças /Cont.:	Emb.:
-------------------------------	---	--	---------------	-------



Modificação	Índice	Data	Rubrica	Observações:	Processo	
CRIAÇÃO		10/11/03			OP 20	SOLDADURA CAIXA
MOD. INDICE		09/11/04			OP 30	SOLDADURA ENTRETOISE
						MONTAGEM


S102197V20 INDICE B05 / S102197V30 INDICE B06

Nº	Característica	Meio Controle	Preparação (NII)	Autocontrolo(NI)	Auditoria (NIII)
1	Conformidade Posto Trabalho	Visual	No arranque	No arranque	No arranque
2	Registos: Auto Controle, Controle Volante, Arranque.	Visual	No arranque  1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas
3	Verificar presença dos pontos de soldadura	Visual	No arranque  1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas
4	Verificar conformidade dos pontos de soldadura através do ensaio de ultra-sons.	Banca de Ultra-sons	No arranque  1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas
5	Verificar diâmetro da zona de arrancamento para os pontos A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, mínimo 6 mm.	Banca de Ensaio	No arranque  1 peça/ Mudança de electrodos		2 peças/ 4 horas

FOLHA 2

POI 2.17\_A\_DGR\_Guia de Controle em Processos Soldadura de Pedalins

	<b>GAMA DE CONTROLE DO PROCESSO DE SOLDADURA POR ULTRA-SONS</b>	Referência SAP: <b>S102197V20</b> <b>S102197V30</b>	Referência Cliente: <b>S001021X74</b> <b>S001021X97</b>	Denominação: <b>ENS SUPPORT DEBRAYAGE DAD</b>
---	---	---	---	--

TRATAMENTO DE DEFEITOS 				
Nº	Defeito	Ações Feitas Pelo Nível I	Ações Feitas Pelo Nível II	Ações Feitas Pelo Nível III
	Soldadura não resiste ao ensaio	Aviso ao Responsável Registro do Defeito	Regular parâmetros. Inspeção produto fabricado desde do último controle.	Imprimir impresso. Rejeitar material fabricado desde do último controle. Inspec. material selecionado.
	Ausência de pontos	Aviso ao Responsável Registro do Defeito	Regular parâmetros. Inspeção produto fabricado desde do último controle.	Imprimir impresso. Rejeitar material fabricado desde do último controle. Inspec. material selecionado.

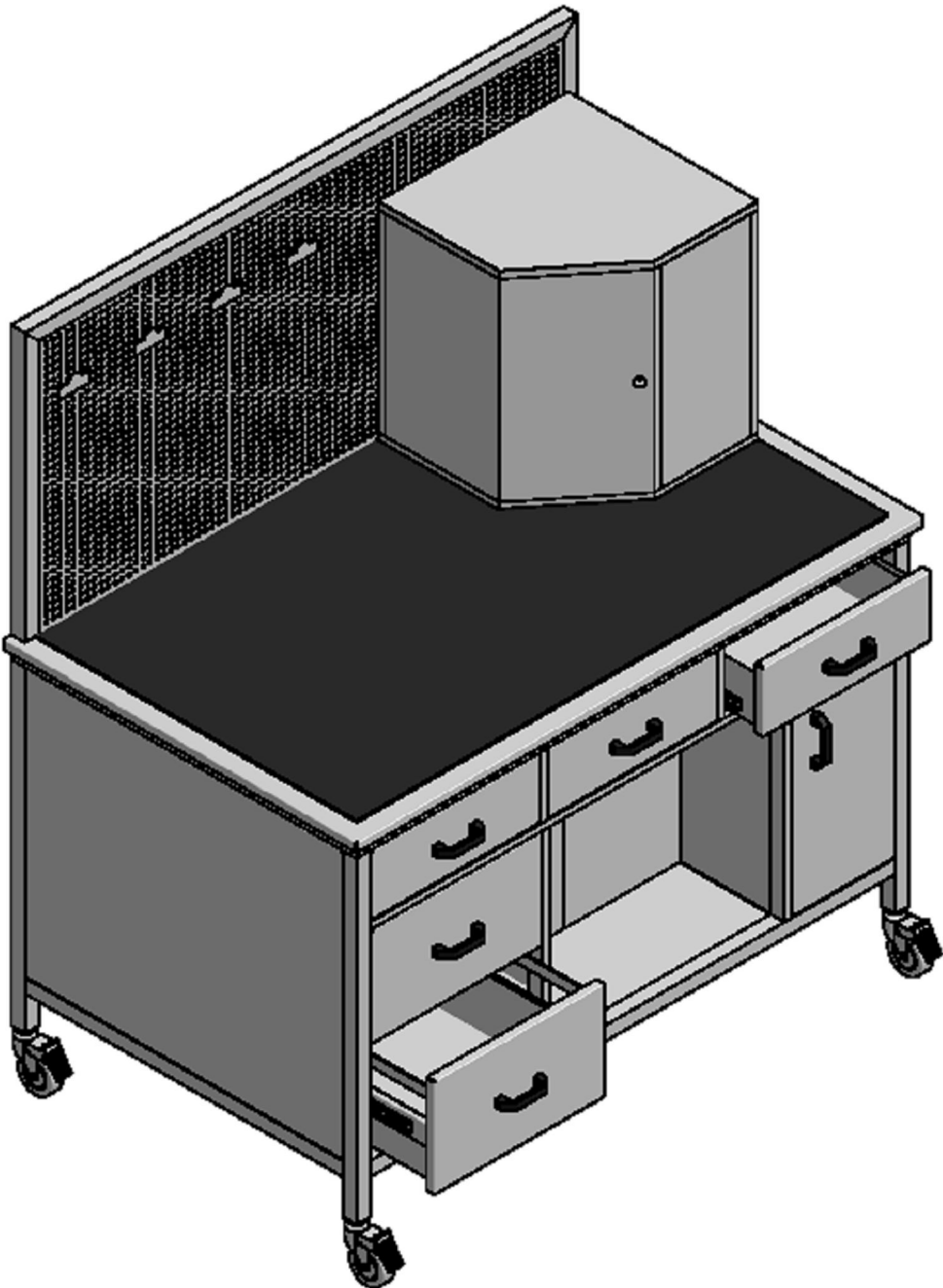
#### REGISTO DE INCIDÊNCIAS DA PEÇA


DATA	CONTROLADOR	INCIDENCIA

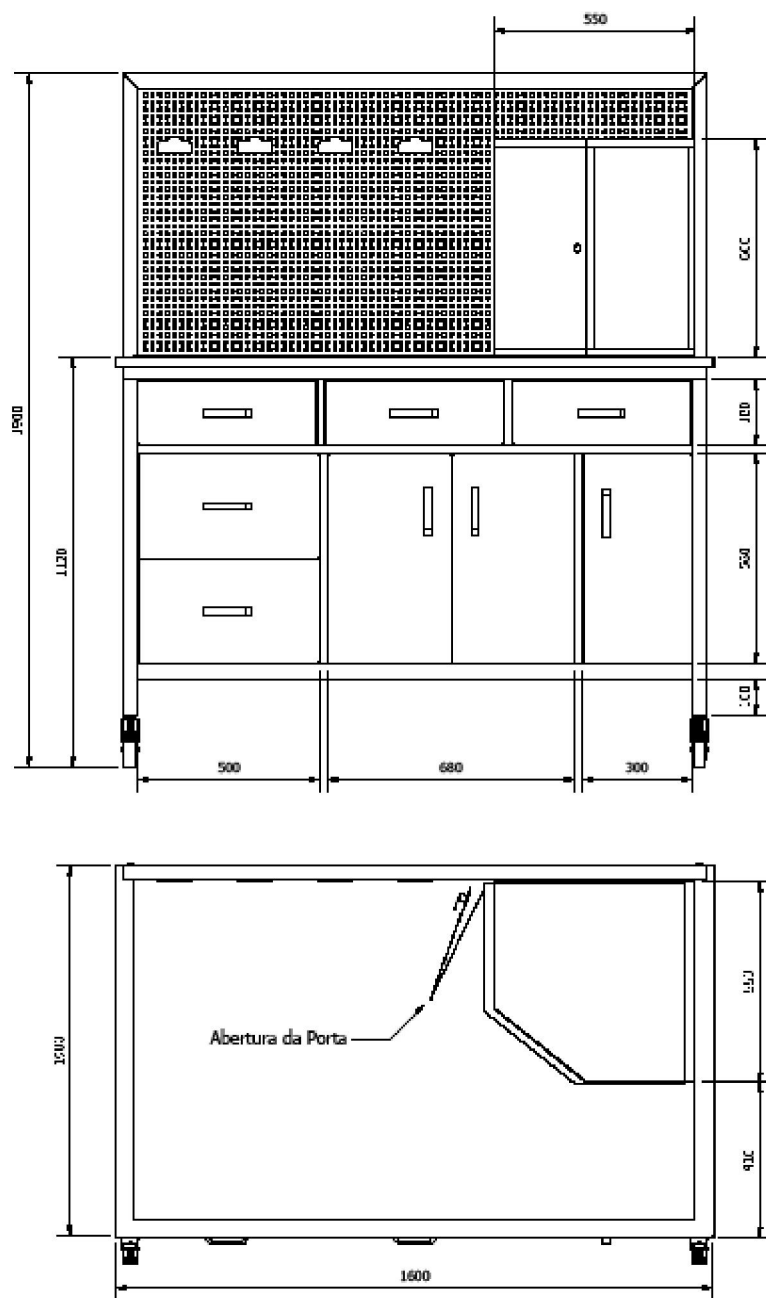
FOLHA 3




Anexo F: Projecto da banca de ultra-sons.



N.º ENCOMENDA	QUANTIDADE	DATA	NOME	 PINTO BRASIL FÁBRICA DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS, LDA	Parque Industrial S. João de Fomes Par. 82 - P2 4800-483 GUARÁNIS
ACABAMENTO	PRODUÇÃO	PROJ.	PROJ.		
	Interno□ Externo□	DESIGN.	Pedro		
		VERIFIC.	César		
DESIGNAÇÃO:				PROCESSO:	Orç. 08-093A
Bancada para Ultrar-sons Desenho de Apresentação				COD. PEÇA:	
				Vers. n.º	0
				TOLER.	ISO-14
				Data:	30-06-2008
				Substituído por:	
				Substituído por:	



R.º ENCOMENDA	QUANTIDADE	DATA	NOME	 PINTO BRASIL FÁBRICA DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS, LDA
ACABAMENTO	PRODUÇÃO Interno	PROJ. 20-04-2000 DESENH. 20-04-2000 VERIFIC. 20-04-2000	Pedro César	
DESIGNAÇÃO:				PROCESSO: Orç. 08-093A
Bancada para Ultr-sons Desenho de Apresentação				COD. PEÇA:
				Vers. n.º 0
				TOLER. 10x14
				Data: 20-04-2000
				PÁG. 2 de 2
				Substituído por:
				Substituído por:



GESTAMP  
**PORTUGAL**

INSTRUÇÃO TRABALHO PARA:

**Medição de pontos de soldadura  
por “Ultra-Sons”**

APARELHO

**ScanMaster SWI – 100 UT/Mate**

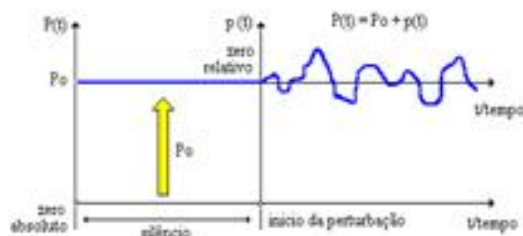


I.T 17/03/2008 – 1/31

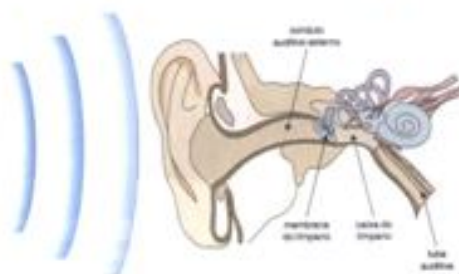
## 1. Introdução geral:

Sons extremamente graves ou agudos podem passar despercebidos pelo aparelho auditivo humano, não por deficiência deste, mas por se caracterizarem por vibrações com frequências muito baixas, até 20Hz (infra-som) ou com frequências muito altas, acima de 20 KHz (ultra-som), ambas insudivéis.

Assim, e segundo a acústica, podemos definir o som como uma variação rápida da onda de pressão num determinado meio. Usualmente referimo-nos a som audível, à sensação (detectada pelo ouvido) de uma pequena mas muito rápida variação de pressão do ar acima e abaixo da pressão atmosférica.



O som não é mais que a propagação de uma frente de compressão mecânica ou onda longitudinal. Este solenóide propaga-se sobre a forma de circunferências concêntricas, as quais podem ser transmitidas em meios com massa e elasticidade, tais como o sólido, líquido ou gasoso, no entanto este não se propaga no vácuo.

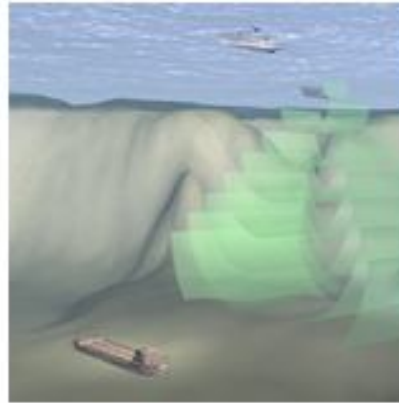


Este tipo de onda sonora foi descoberta no ano de 1881 por Jacques e Pierre Curie, sendo que a sua maior evolução foi ao nível da medicina e da engenharia militar.

Contudo, o ultra-som foi desde sempre utilizado pelos animais para a ecolocalização. As suas mais conhecidas aplicações são as ecografias e os sonares, mas

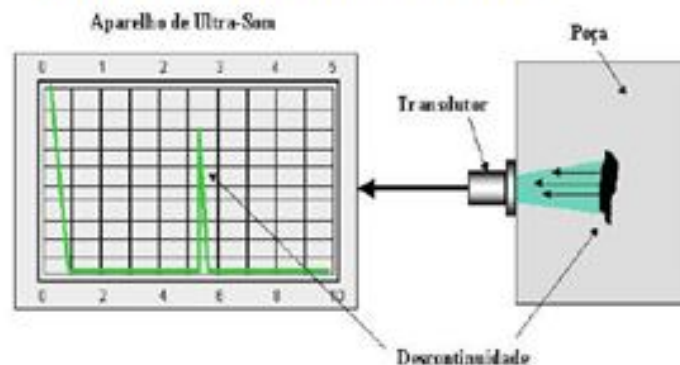
## Instrução de trabalho.

existem outras áreas tais como aparelhos de limpeza, repelentes de animais, medidores de distâncias, aparelhos de soldadura, entre outras.



Como sabemos, os sons produzidos num qualquer ambiente, reflectem-se ou reverberam nas paredes que consistem o mesmo, podendo ainda ser transmitidos a outros ambientes. Fenómenos como este, apesar de simples e serem frequentes no nosso quotidiano, constituem os fundamentos do ensaio ultra-sónico de materiais.

Assim como uma onda sonora se reflecte ao incidir num material qualquer, a vibração ou onda ultra-sónica ao percorrer um meio elástico, reflectirá da mesma forma, ao incidir numa descontinuidade ou falha interna a este meio considerado. Através de aparelhos especiais, detectamos as reflexões provenientes do interior da peça examinada, localizando e interpretando as descontinuidades.



## 2. Descrição do Equipamento:

O equipamento de ultra-sons é constituído essencialmente por:

- Computador e respectivo hardware:



- Placa UT/MATE:





- Cabos de ligação:



- Apalpadores:



- Comando:



### 3. Abertura do programa:

Esta parte da instrução de trabalho tem como função a descrição detalhada da maneira como proceder quando da inicialização do programa de medição por ultra-sons.

**Passo n° 1-** Abertura do programa



- Para se efectuar a abertura do programa tem de se abrir o *icon* “*Shortcut to Spotweld.exe*”.

**Passo n°2-** Efectuar a o login do utilizados no programa.



Para tal é necessário:

- Inserir um *user* no campo **Login**
- Inserir a palavra *pass* na campo referente à **Contraseña**.
- Clicar em “**OK**”.



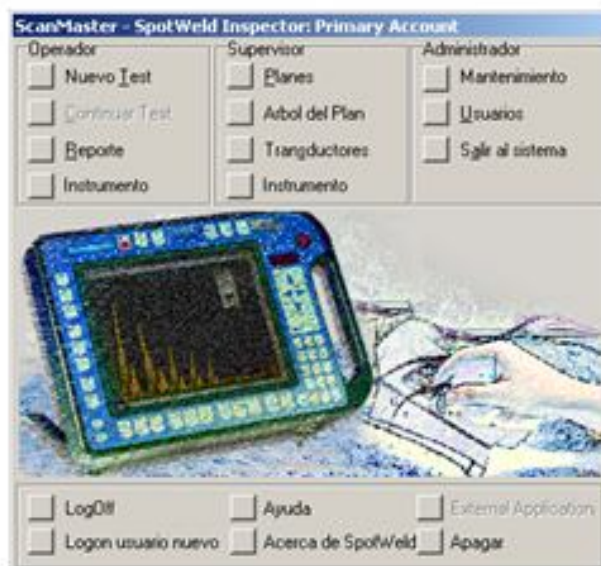
## Instrução de trabalho.

### Passo n° 3 – Identificação do Turno



- Seleccionar o turno;
- Clicar no botão "OK".

### Passo n° 4 - Menu Inicial.



#### 4. Configuração de novo teste:

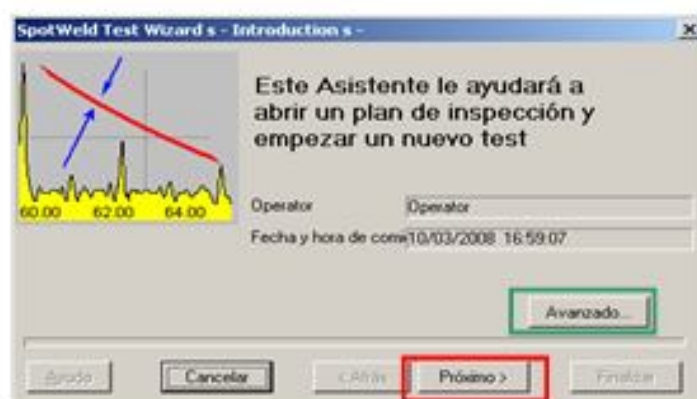
O principal objectivo deste ponto é auxiliar a iniciação de uma medição, bem como demonstrar de forma detalhada todos os passos a efectuar até ao início da análise.

##### Passo n° 1



Para iniciar um novo teste, pressionar no quadrado à direita de "Nuevo Test", que se encontra na zona referente ao operador.

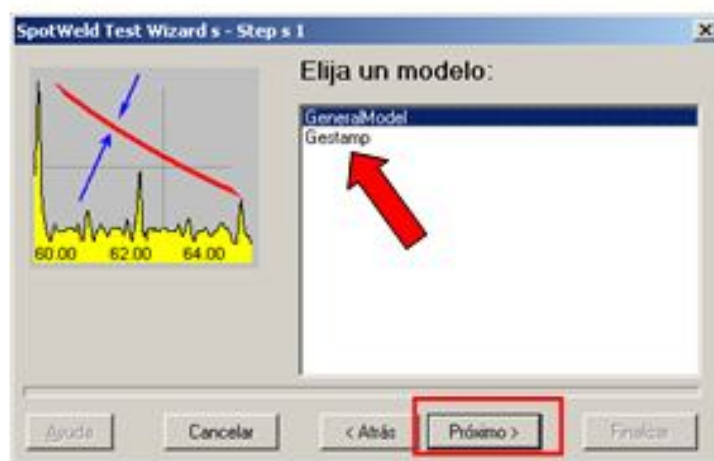
##### Passo n° 2



### Instrução de trabalho.

- Existem duas formas de abrir um plano de inspecção. Através do assistente ou de uma forma avançada.
- Para se recorrer ao assistente clicar sobre o botão “Próximo >” (identificado pelo quadrado vermelho).
- Caso não quiser usar o assistente pressionar o botão “Avanzado...” (identificado pelo quadrado verde).

### Passo n° 3 – Escolha do modelo.



Para escolher o modelo a utilizar deve:

- Seleccionar “Gestamp”;
- Clicar sobre o botão “Próximo >”.

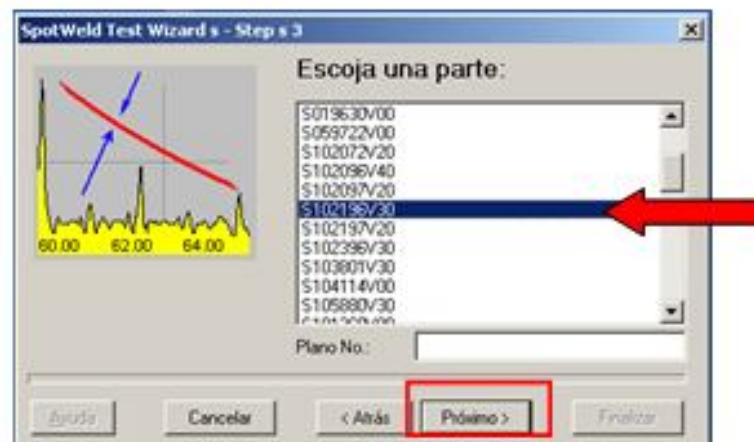
## Instrução de trabalho.

### Passo nº4 – Escolha do grupo.



- Seleccionar “Portugal”;
- Clicar sobre o botão “Próximo >”.

### Passo nº 5 – Escolha da referência.



Para escolher o referência a utilizar medir deve:

- Seleccionar com um “click” a referência da peça que queremos verificar, desde a lista (assinalada pela seta vermelha);
- Clicar sobre o botão “Próximo >”.

**Passo nº 6 – Escolha do plano de inspecção**



- Seleccionar o plano da lista;
- Clicar sobre o botão “Próximo >”.

**Passo nº 7 – Validação da referência a medir.**



Para efectuar alguma alteração na escolha do programa a utilizar deve:

- Clicar sobre o campo que pretende alterar ( os assinalados pelas **setas vermelhas**);
- Efectuar a alteração pretendida;

### Instrução de trabalho.

- Clicar sobre o botão “Próximo >”, assinalado a com um **quadradinho vermelho**.

**Passo nº 8- Finalização da configuração do novo teste.**



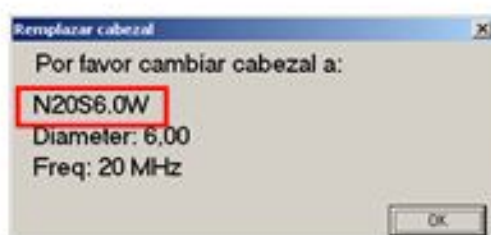
Para finalizar a configuração do teste clicar no botão “**Finalizar**”.



## 5. Teste:

A finalidade deste ponto da instrução é o de auxiliar o operador na execução do teste de ultra-sons. Por outro lado, estão exemplificados todos os passos a efectuar e cuidados a ter ao longo do teste.

**Passo nº 1-** Escolha do Apalpador.



Quando aparecer a janela acima indicada deve efectuar-se:

- Pegar no apalpador e procurar inscrições pela **seta vermelha**.
- Verificar se a inscrição do apalpador coincide com a encontra dentro do **quadrado vermelho**.

**Passo nº 2-** Ligação dos cabos.

Para ligar os cabos deve ser feito o seguinte procedimento:

- Ligar a parte mais estreita do cabo ao palpador:



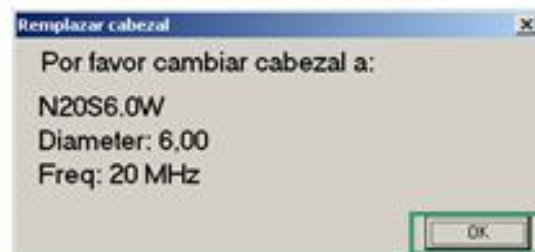
### Instrução de trabalho.

- Ligar a ponta mais larga à placa na porta “XMT”



**Nota:** O cabo só é desligado do apalpador quando se efectuar a mudança de membrana

**Passo n° 3 –** Finalização da colocação do apalpador.



Após ligação do transdutor à placa, clicar no botão “OK”, identificado com o **quadrado verde** na janela anterior, para saltar para o teste.

**Passo n° 4-** Medição da peça.

Para se obter um sinal:

- A amplitude deve de ser superior a 20%;
- O pico referente ao contacto com a superfície deve possuir uma amplitude superior a 100%.
- O primeiro eco deve atravessar a segunda porta;



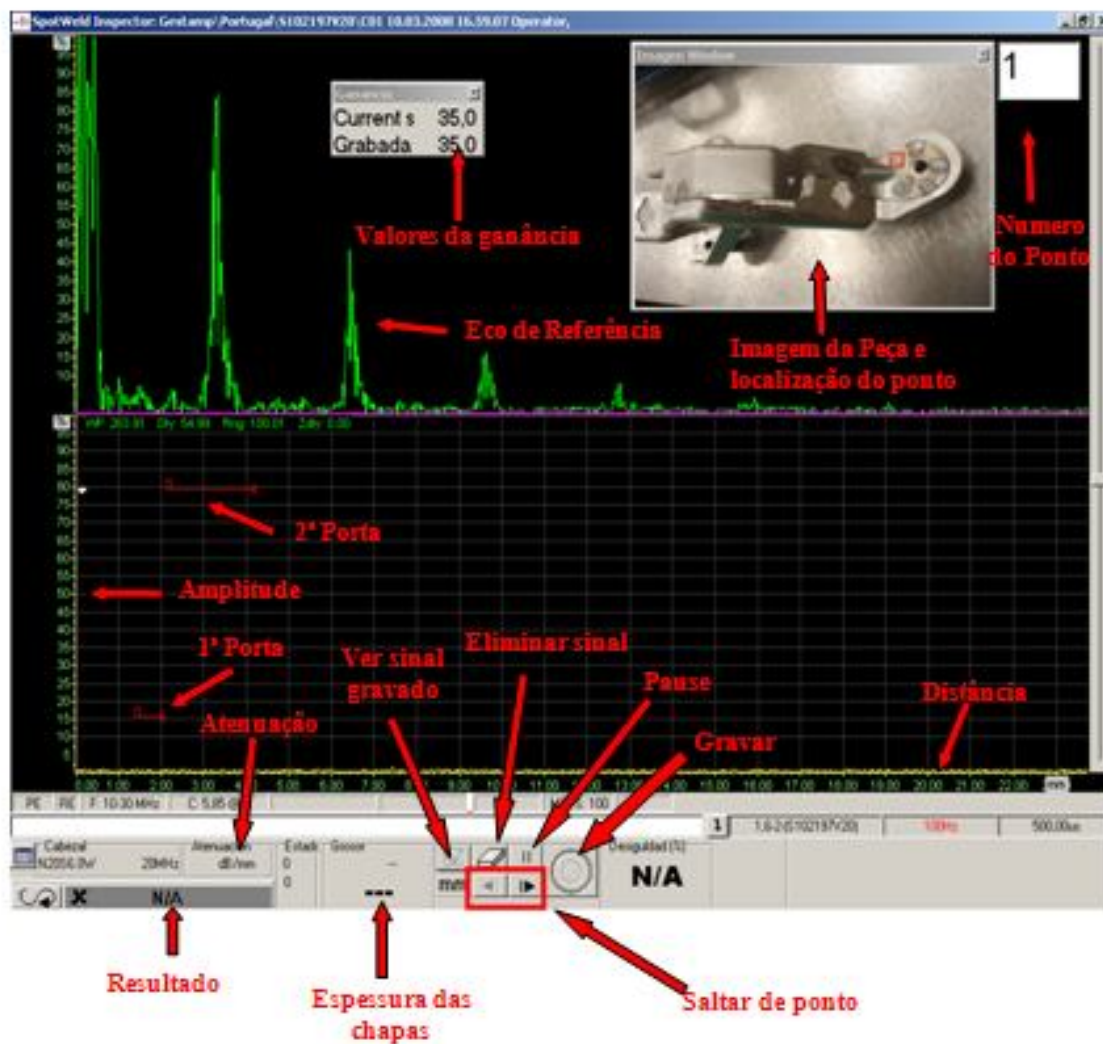
## Instrução de trabalho.

Cuidados a ter durante a medição:

- Ter em atenção o ponto que se está a medir.
- Deve-se respeitar a ordem de medição ditada pelo programa.
- Tentar efectuar a medição com a ganância o mais baixa possível.
- O palpador deve estar sobre o ponto de soldadura.
- Tentar que o sinal não ultrapasse a primeira porta.
- Não efectuar muito mais de três tentativas de medição em cada ponto, excepto quando o resultado seja "Please Repeat Test" ou que o sinal foi apanhado fora do ponto.
- Deve-se ter em atenção estado da superfície, **ver ponto sobre preparação das superfícies (Ponto nº 8).**
- Deve-se aplicar sempre gel sobre o ponto, para o acoplamento da membrana.

## 5.1 Funções na janela:

Esta parte do teste tem como finalidade de mostrar ao utilizador todas as funções existentes na janela de ensaio.



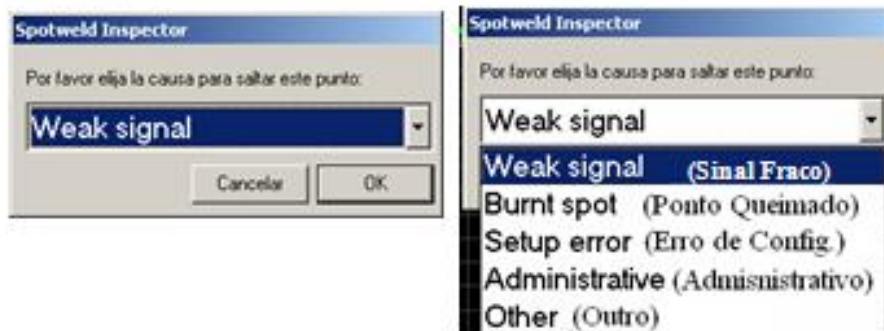
## 5.2 Funções do comando:

Tal como acontece no ponto anterior, “funções na janela”, este ponto também serve para demonstrar todas as funções existentes no comando do aparelho de ultra-sons.



Caso durante o teste quiser passar para o ponto seguinte sem ter gravado um sinal, efectuar o seguinte procedimento:

- Clicar num dos botões para saltar de ponto.
- Escolher o motivo de saltar o teste.



- Clicar em "OK"

**Passo nº 5 – Fim do teste.**

Quando chegar ao fim do teste aparece a seguinte janela.



Nessa mesma janela, clicando sobre os quadrados existentes antes do texto, poder-se-á efectuar as seguintes situações:

- **Informes:** Seguir para a zona dos relatórios;
- **Menú Principal:** Para ir directamente para o menu;
- **Test de pieza nueva:** Este botão serve para efectuar um teste a uma nova peça;
- **Test de pieza actual:** Serve para voltar ao teste que estava a efectuar;
- **Añadir notas al test:** É indicado para juntar qualquer tipo de comentário fundamental para a medição.

## Instrução de trabalho.

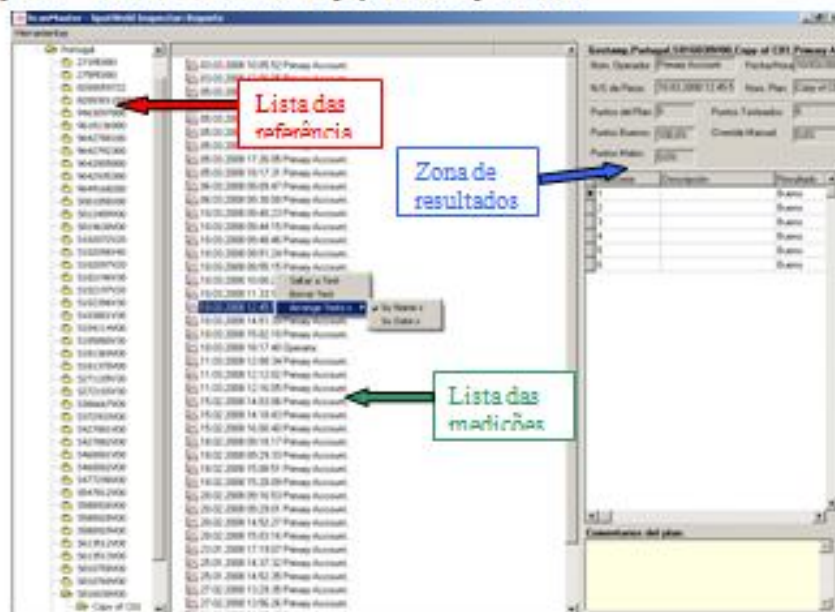
### 6. Relatório:

Chega ao fim do ensaio, é necessário guardar toda a informação ou até visualizar os resultados obtidos. Daí que para tal deva-se efectuar os seguintes passos:

**1º passo** – No menu principal clicar sobre o botão “Reporte”, indicado pela **seta vermelha**.



**2º passo** - Escolher a referência da peça e o teste pretendido

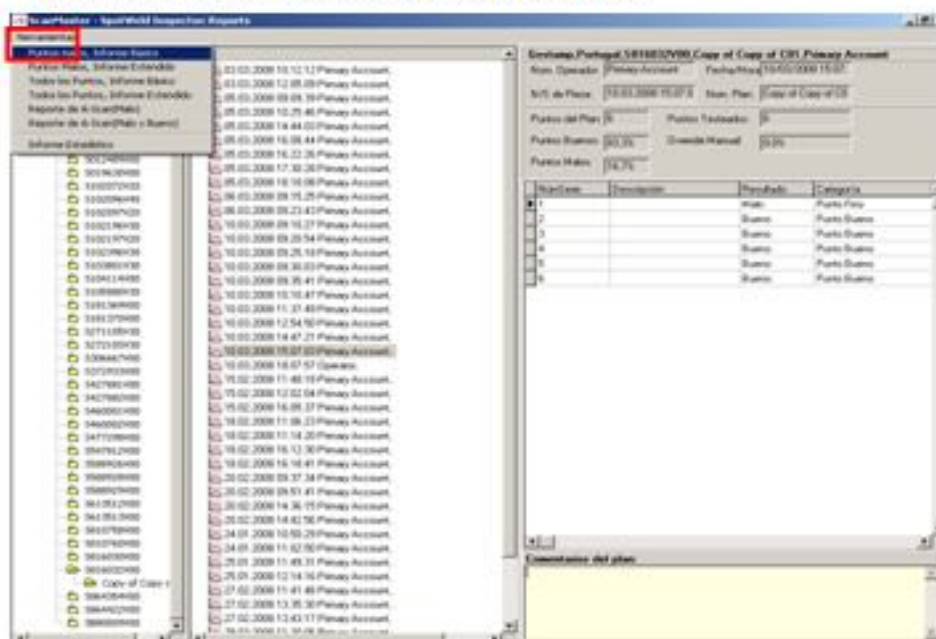


I.T 17/03/2008 – 19/31

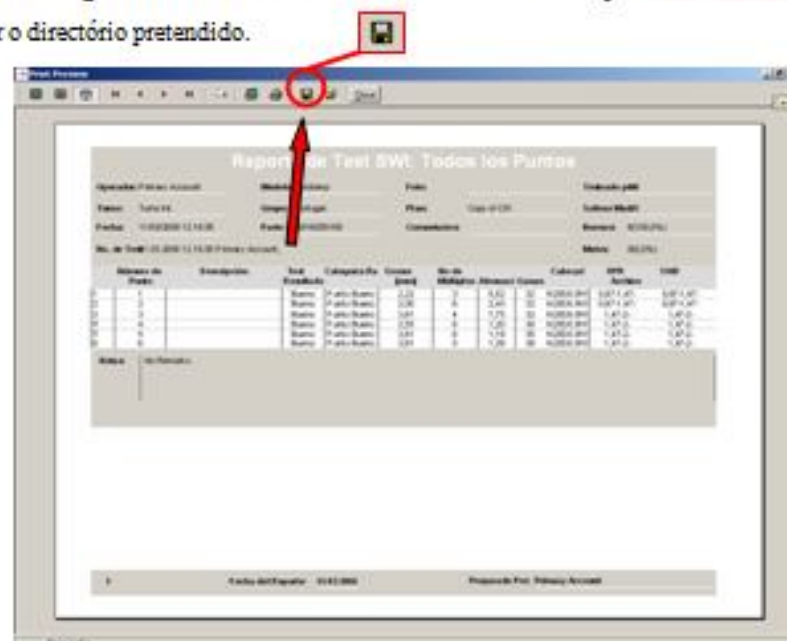


## Instrução de trabalho.

3º passo – Depois de seleccionar o teste pretendido clicar sobre o menu “Herramientas” e escolher o tipo de relatório pretendido.



4º passo – Para guardar o relatório clicar sobre o botão assinalado pela seta vermelha e escolher o directório pretendido.



## 7. Mudança de membranas:

A mudança de membranas só é efectuada quando houver ruptura da mesma ou quando ela já não apresente condições para efectuar a medição.

Um apalpador é constituído pelas seguintes partes:

1. Cabeçal;
2. Corpo;
3. Ponta;
4. Membrana



Para mudar uma membrana deve de efectuar os seguintes passos:

**1º passo** – Desenroscar o cabeçal (parte 1) do corpo do apalpador (parte 2). Retirar a água do interior do apalpador.



**2º passo-** Desenroscar o corpo (parte 2) da ponta do apalpador (parte 3). No final desta operação retirar a membrana a substituir.



**3º passo –** Retirar uma membrana nova do seu respectivo invólucro.



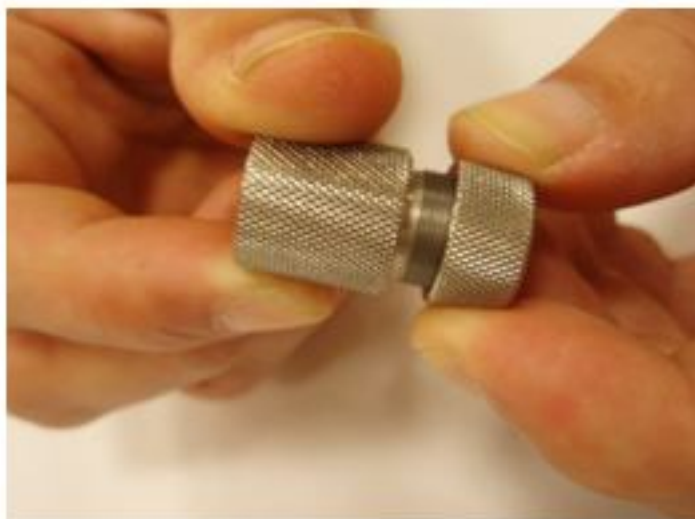


### Instrução de trabalho.

**4º passo** – Introdução da membrana (parte 4) do diâmetro correspondente na ponta do apalpador (parte 3). Se necessário recorrer a um punção.



**5º passo** – Enroscar a ponta (parte 2) ao corpo do apalpador (parte 3). Após a operação soprar na parte traseira do corpo para ver se está a ser efectuada a vedação por parte da membrana. Caso contrário voltar a recolocar a membrana.



**6º passo** – Encher o conjunto do corpo e ponta do apalpador ( parte 2 e 3), até que comece a deitar fora o excesso de água.



**7º passo** – Inclinar o apalpador para facilitar a saída do excesso de água, enroscar o conjunto do corpo do apalpador (parte 2 e 3) com o cabeçal (parte 1).



**8º passo** – Uma vez enroscado, coloca-se o palpador numa posição vertical, com a membrana para cima e damos umas pequenas pancadas. Se aparecerem bolhas de ar na membrana, desvaziar a água e repetir os passos 6, 7 e 8.



**9º passo** – O palpador já se encontra pronto para ser utilizado.

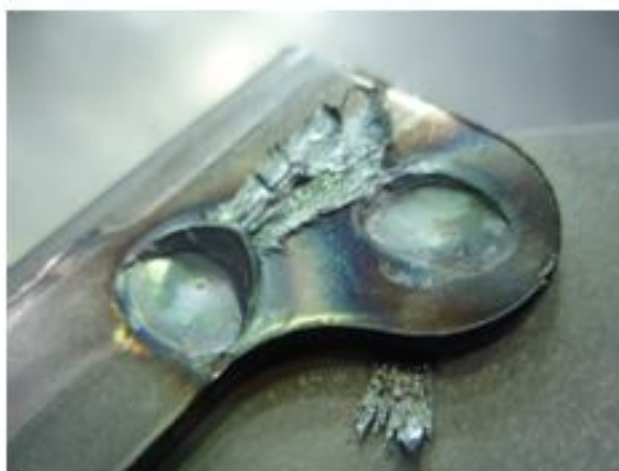


## 8. Preparação da superfície:

A finalidade deste ponto é o de verificar se existem defeitos nos pontos de soldadura que possam trazer problemas às membranas.

Daí que os tipos de defeitos que possam estar presentes nos pontos de soldadura são:

- Projecções:



- Rebarba:

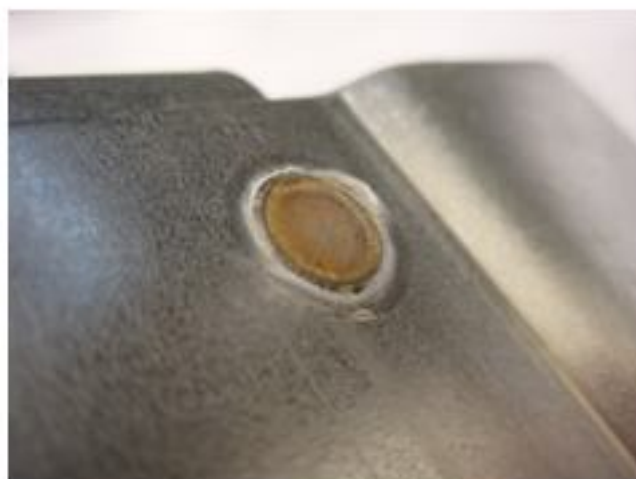


- Defeitos internos:



Caso existam defeitos superficiais nos pontos deve-se efectuar o seguinte procedimento:

**1º passo** – Localizar o ponto a preparar.



### Instrução de trabalho.

2º passo – Retirar os potenciais defeitos dos pontos usando uma lixa fina.



3º passo – Limpar a superfície preparada com o auxílio de papel.

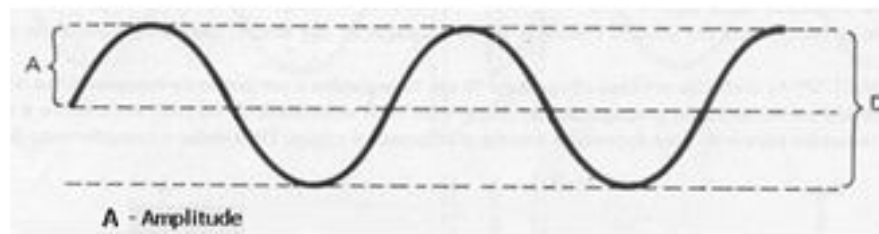


## 9. Glossário:

Esta parte da instrução de trabalho , serve para explicitar os termos menos vulgares do vocabulário comum. Assim temos as seguintes expressões:

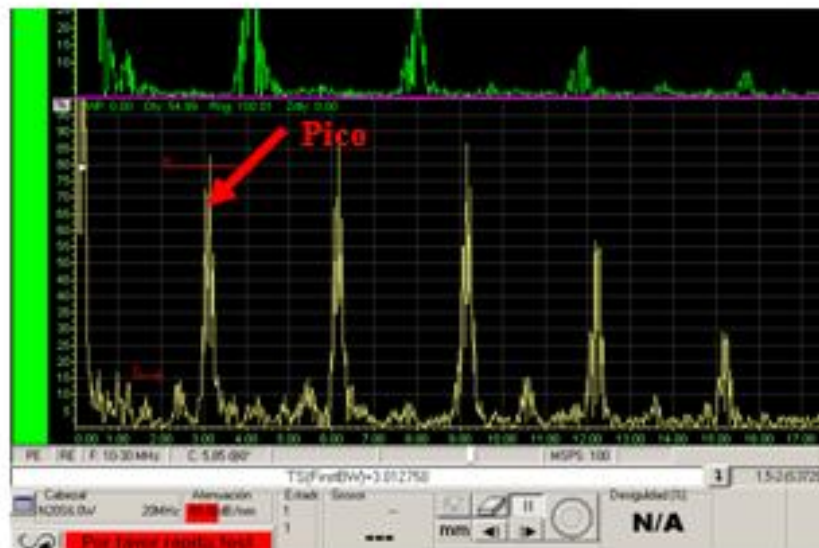
- **Amplitude:**

Amplitude de uma onda é a medida da magnitude da máxima perturbação do meio durante um ciclo da onda sonora. Daí que quando se diz que o sinal tem de possuir uma amplitude superior a 20%, estamos a dizer que o sinal que recebemos deverá ter uma magnitude no mínimo de 20% o sinal emitido pelo aparelho.



- **Pico:**

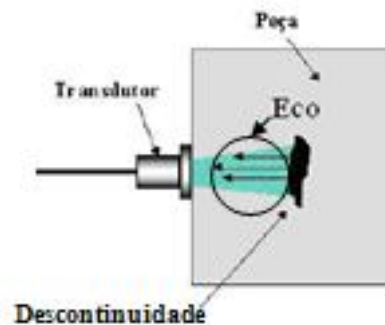
O pico de um sinal não é mais do que a representação gráfica resultante do eco recebido pelo aparelho.



## Instrução de trabalho.

- **Eco:**

Quando se fala de eco está-se a referir ao sinal reflectido quando for encontrada uma descontinuidade.



- **Ganância:**

A ganância está relacionada com a energia utilizada na produção do sinal sonoro. Assim quanto maior for a ganância de um sinal maior será a potência utilizada na produção do sinal.

- **Porta:**

O termo porta refere-se aos limites pré-definidos pelo programa para captar um sinal, como demonstra a seguinte imagem.

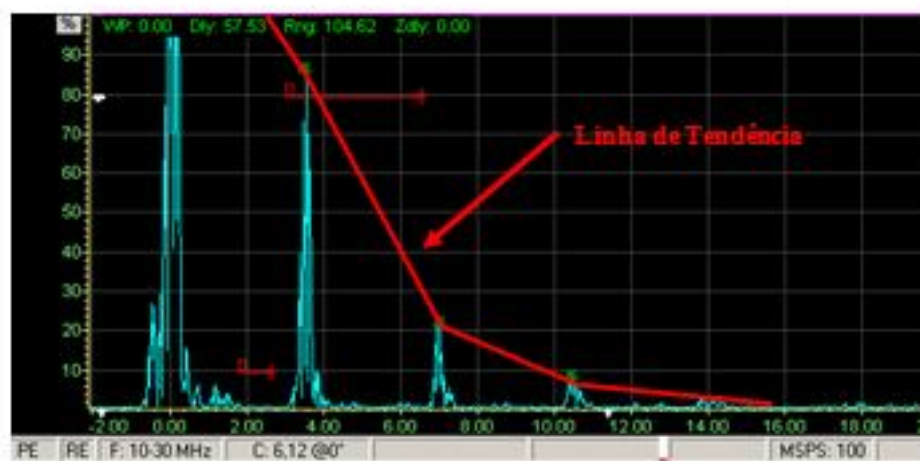




## Instrução de trabalho.

- **Atenuação:**

A atenuação não é mais que o declive da linha de tendência descrita pelas pontos de máxima amplitude dos picos.



## Anexo H: Apresentação da formação dos controladores.



GESTAMP  
**PORTUGAL**

Aparelho de Ultra-sons Swi-100

### **Formação SpotWeld 3.2**

Abril de 2008

1

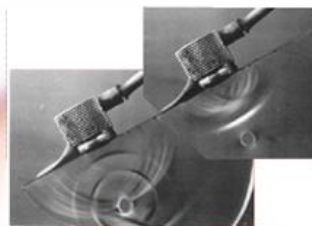


GESTAMP  
**PORTUGAL**

### **Sumário:**

Esta formação tem os seguintes objectivos:

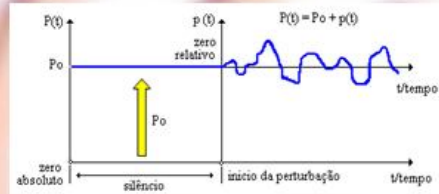
- Obter os conhecimentos básicos sobre os ultra-sons.
- Adquirir conhecimentos sobre o software de ultra-sons.
- Aprender a efectuar uma medição com o aparelho de ultra-sons.
- Adquirir conhecimentos sobre os diferentes tipos de sinais captados.
- Conhecer os cuidados a ter com o aparelho e com as membranas.



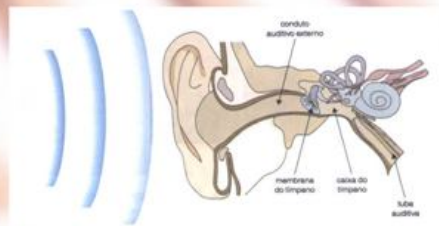
2

## O que é o som?

A definição da acústica aponta para a variação rápida da **onda de pressão** num determinado meio.



Usualmente referimo-nos a **som audível**, à sensação (detectada pelo ouvido) de uma pequena mas muito rápida **variação de pressão do ar** acima e abaixo da pressão atmosférica.

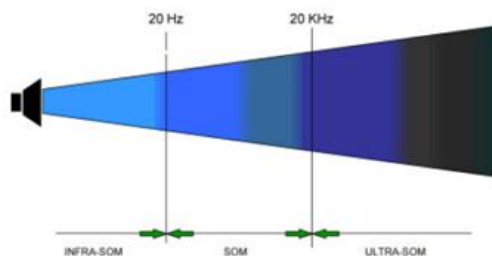
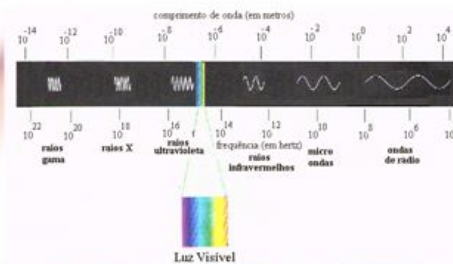


3

## O Espectro do som.

Como acontece no caso da luz, o ser humano só consegue captar **uma parte do espectro** mas não a sua totalidade.

Assim o **espectro do som** está dividido em **três parte**. Das quais só uma é sentida pelo ser humano.



As três partes do espectro do som:

Até 20 Hz ➡ **Infra-som**

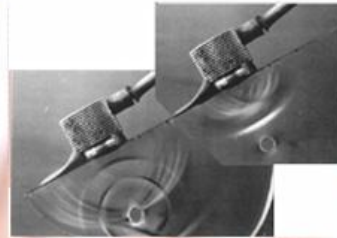
De 20Hz até 20KHz ➡ **Som**

Acima de 20KHz ➡ **Ultra-som**

4

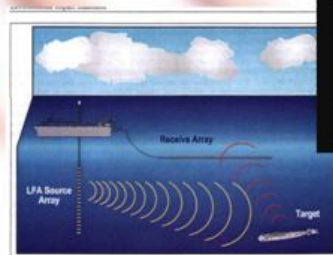
## O Ultra-som.

Os ultra-sons são vibrações acústicas ou sonoras de uma **frequência superior a 16 kHz**, que correspondem ao limite da audição humana, ainda que as crianças tenham um limite de 20 kHz, consideramos como limite agudo médio os 16 kHz.



Contudo existem certos **animais** que são capazes de **emitir e captar sons** com uma frequência mais elevada, no seu caso, os ultra-sons são audíveis.

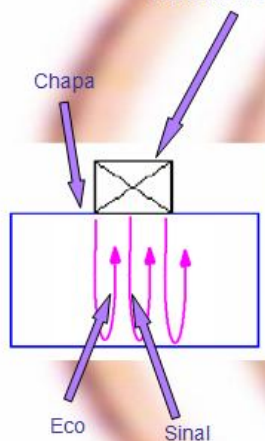
O seu maior desenvolvimento foi devido à evolução da **medicina** e através da **industria militar**.



5

## O Princípio do Ultra-som.

Transdutor com cristal piezoelétrico



Quando aplicado um determinado sinal eléctrico num cristal piezoelétrico, este vai transformar a energia eléctrica em energia mecânica.

As vibrações produzidas vão-se propagar ao longo da chapa, atravessando toda a espessura da chapa.

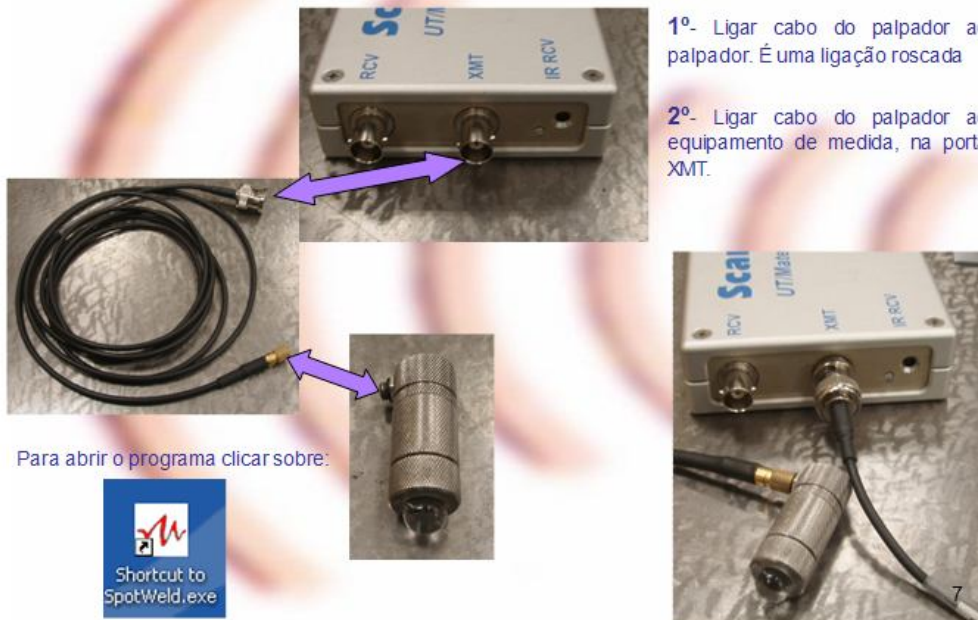
Quando atingem a extremidade da chapa elas são reflectidas em direcção ao transdutor.

Atingido o transdutor ocorre o efeito piezoelétrico inverso. No qual uma vibração mecânica é transformada num sinal eléctrico.

6



## Como ligar o aparelho.



## O Palpador.



### Procedimento de Montagem:

- 1º- Introduzir a membrana no interior da parte 1. Deixar a membrana centrada com auxílio de um punção.
- 2º- Enroscar a parte 2 com a 1.
- 3º- Encher o conjunto 1 e 2 com água até ao topo.
- 4º- Inclinar o palpador para facilitar a saída do excesso de água, enroscar a parte 3 na 2. Conforme a membrana se vai enchendo vai adotar a forma esférica.
- 5º- Quando enroscado, por o palpador na vertical com a membrana para cima e dar uns pequenos golpes para verificar se existe ar na membrana.

## Janela de Ensaio.



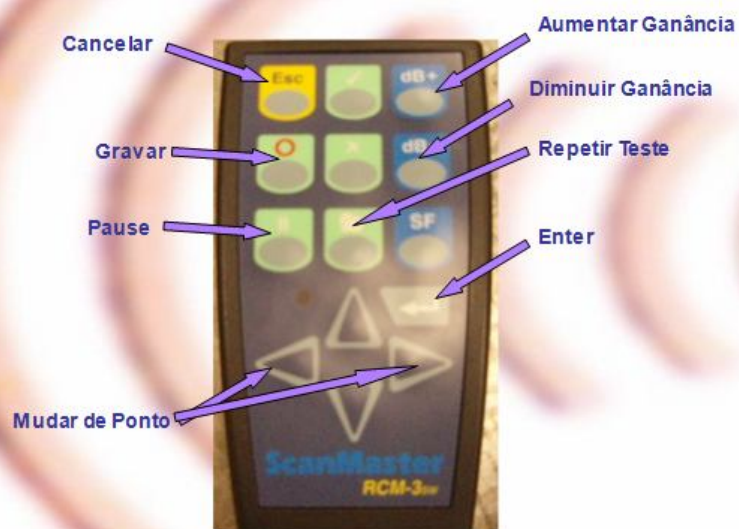
9

## Botões de ensaio.

Botão	Função
	Mostrar sinal gravado
	Apagar sinal gravado
	Pause
	Mudar de ponto
	Guardar sinal

10

## O Comando.

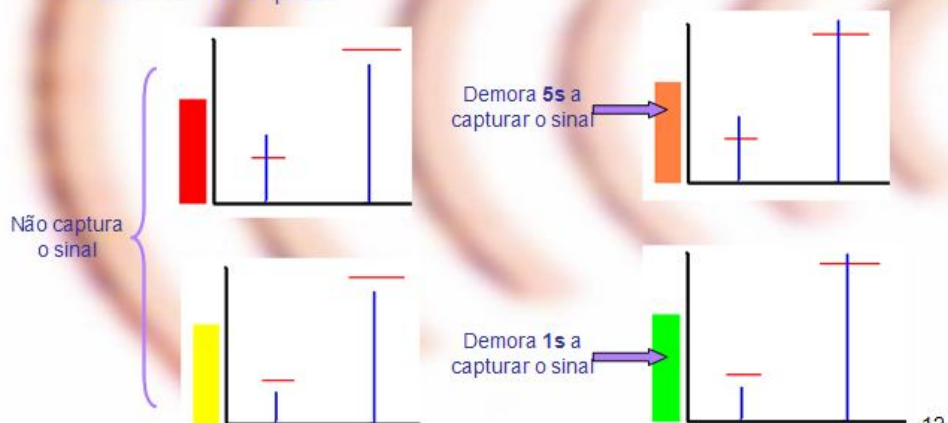


11

## Como obter um sinal.

### Posição do palpador:

- Quanto mais perpendicular estiver o palpador maior será a amplitude do sinal.
- Quanto mais centrado no ponto estiver o palpador menor será o ruído e maior será a amplitude.
- Se a barra da amplitude estiver baixa o palpador não tem uma boa perpendicularidade.
- Cor da barra de amplitude:



12



## Como obter um sinal.

### Posição das portas:

- A primeira porta encontra-se numa posição entre os **10-20%** de amplitude.
- A segunda porta encontra-se a **80%** de amplitude

### Espessura:

A **espessura (T)** tem de estar dentro do seguinte intervalo:

$$(0,75*TT) \leq T \leq (1,1*TT)$$

TT- Espessura total das chapas a unir.

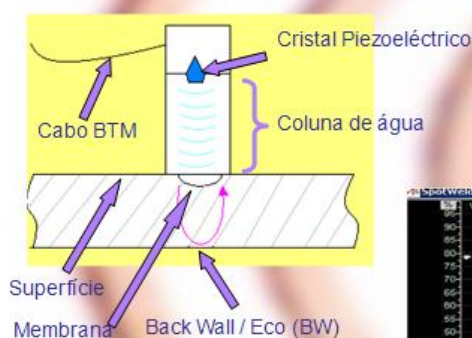
### Ganância:

Usar a ganância o mais baixo possível para obter o sinal.

13

## O Sinal.

O aparelho em questão tem como base de trabalho a **medição de espessuras**. Isto através do recurso à medição do tempo entre as **reflexões do feixe sónico**.



Eco devido ao contacto da membrana com a superfície.

O aparelho retira a parte do sinal correspondente ao **contacto do cristal** com o seu protector e o **ruído da coluna de água**.



Espessura do material

14



## O Ecos.

Os ecos podem ser de três tipos:

- Back Wall (BW)
- Center Peak (CP)
- Side Peak (SP)

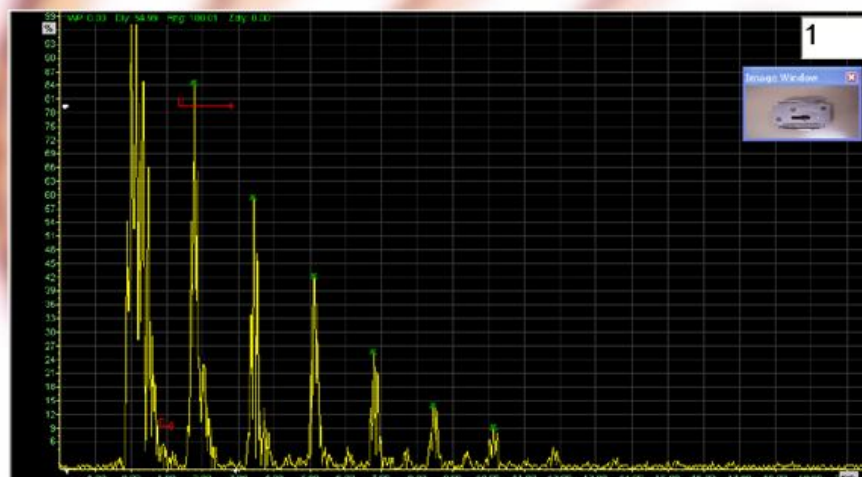


15

## Tipos de Sinais.

### Ponto Bom

Este tipo de sinal possui uma **atenuação praticamente linear** e os diferentes picos estão **distanciados pela distância total** das chapas unidas.

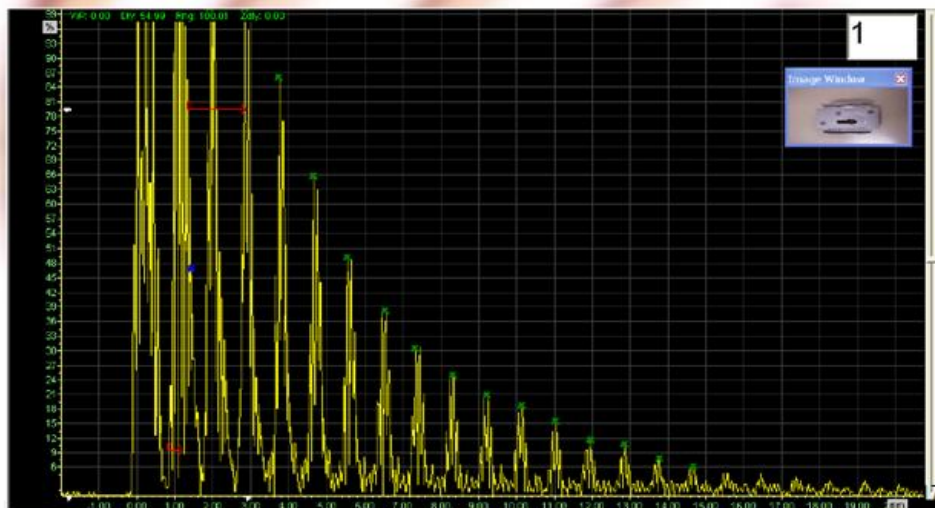


16

## Tipos de Sinais.

### Sem Soldadura

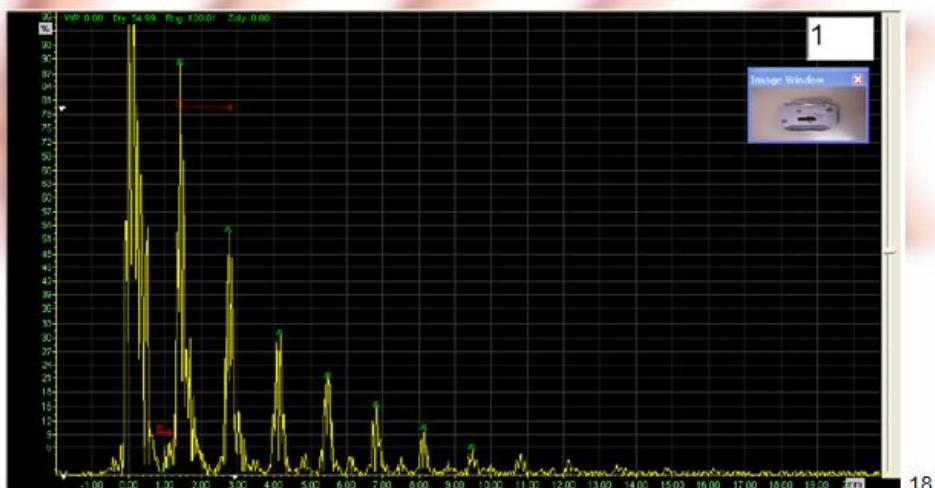
O detalhe mais claro deste tipo de sinal é devido à **distância entre os diferentes picos**, que é equivalente à espessura da primeira chapa.



## Tipos de Sinais.

### Ponto fino

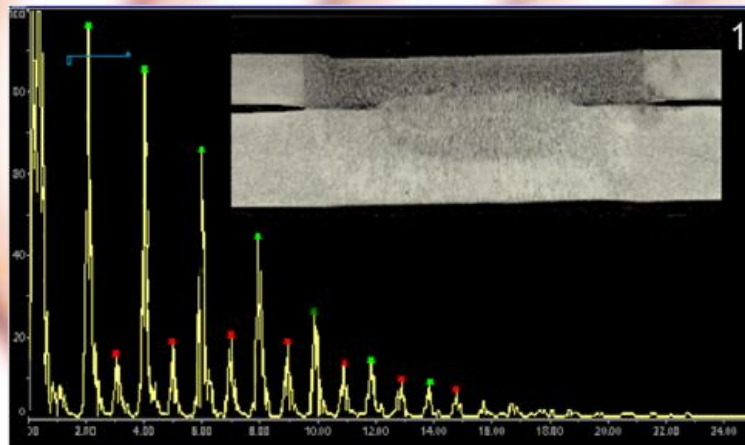
É um sinal muito semelhante ao de ao sinal bom, contudo a única diferença reside no **espaçamento entre picos**. Onde este sinal possui uma espessura inferior à espessura total da soldadura.



## Tipos de Sinais.

### Ponto Pequeno

O sinal é parecido ao do ponto bom, mas como o diâmetro do ponto é inferior ao diâmetro do cristal isto provoca o aparecimento de **picos espaçados pela espessura da primeira chapa.**

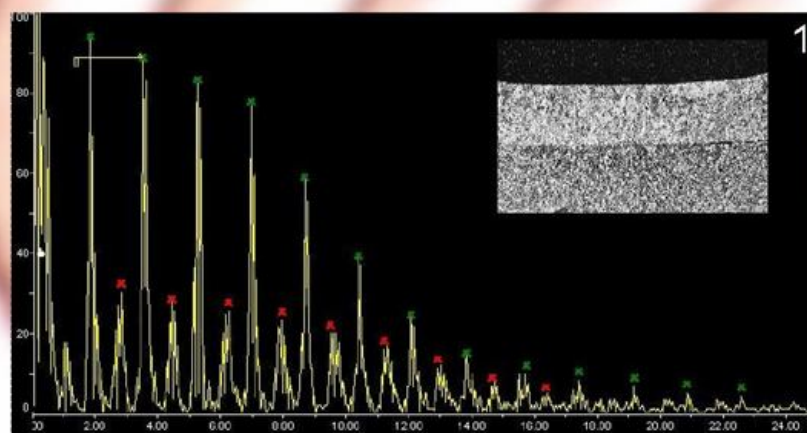


19

## Tipos de Sinais.

### Ponto Colado

O sinal é parecido ao do ponto bom, Contudo existem **muitos picos resultantes do eco da primeira chapa.** Por outro lado, os picos possuem uma maior amplitude e uma atenuação bastante elevada.

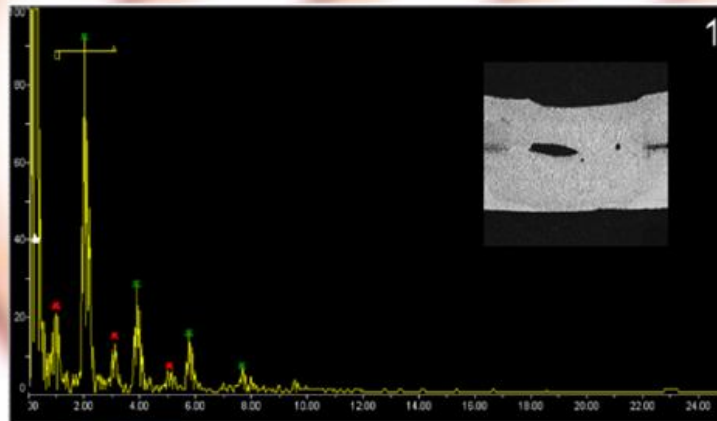


20

## Tipos de Sinais.

### Porosidade

Neste tipo de sinal existe um numero bastante inferior de pico, daí uma **atenuação muito elevada**. Por outro lado poderá existir **picos intermédios** devido aos poros existentes no interior do ponto.



21

## Tipos de Sinais.

### Ponto Queimado

Neste tipo de sinal existe um **numero bastante inferior de pico**, podendo existir apenas um único pico, daí uma **atenuação muito elevada**. Por outro lado, este tipo de sinal é caracterizado por a sua **espessura ser inferior à espessura total** das chapas.



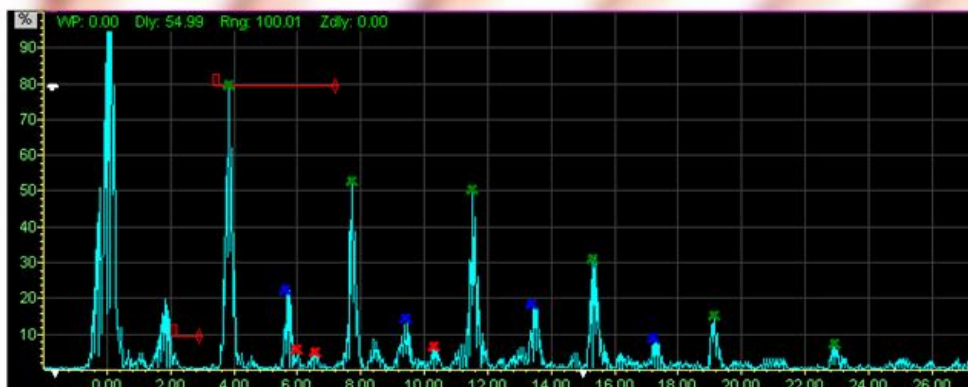
22



## Tipos de Sinais.

### Defeituoso

Este tipo de sinal aparece quando o aparelho **não é capaz** de atribuir um tipo de defeito específico como nos casos anteriores. Por outro lado, este tipo de sinal ocorre quando a atenuação está fora intervalo estabelecido.



23

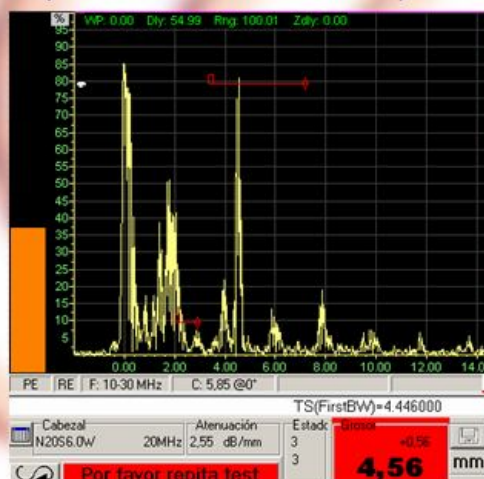
## Please Repeat Test (PRT).

### 1ª Razão

A espessura calculada é **inferior a metade da espessura** da primeira chapa ( $<T1/2$ ).

### 2ª Razão

A amplitude do pico referente ao contacto com a superfície é inferior a 100%.

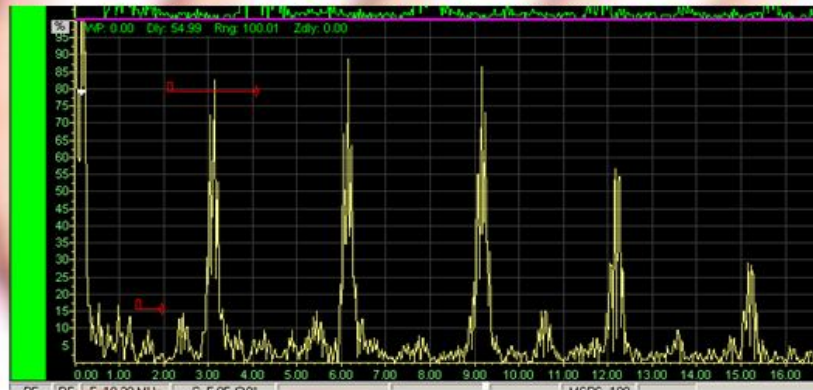


24

## Please Repeat Test (PRT).

### 3ª Razão

Um dos picos (BW) possuem **amplitude superior** à do primeiro Back Wall (BW).

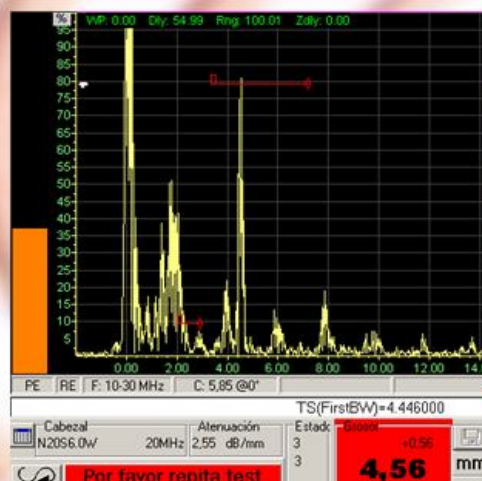


25

## Please Repeat Test (PRT).

### 4ª Razão

A espessura calculada **ultrapassa o limite superior** de espessura admissível (+10% da espessura total).



26

## Cuidados com a superfície.

Este tipo de cuidados são importantes para a **aumentar a duração** de uma membrana.

Caso **existam projeções**, rebarba ou qualquer outro **defeito superficial** que ponha em perigo a integridade da membrana deve de ser removida.

Para **remover** esses defeitos superficiais pode-se utilizar **uma lixa ou um rotorflex**.



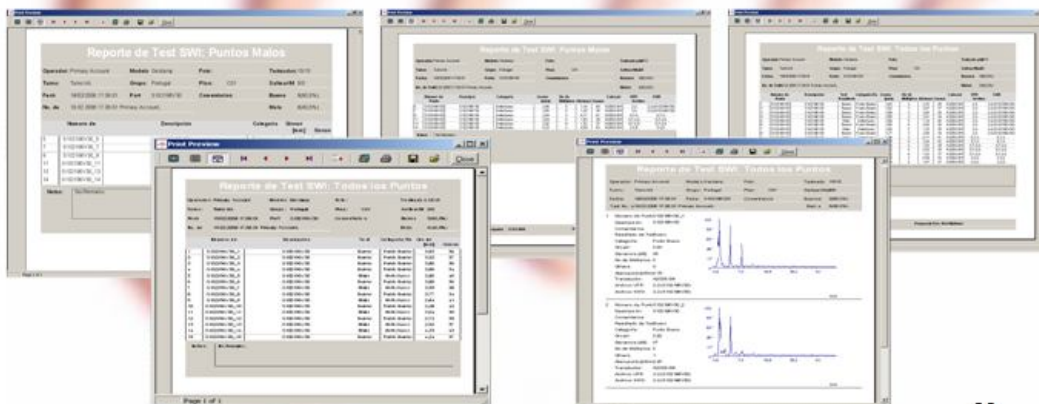
No polimento de superfície tentar **reduzir ao máximo a zona a polir**, isto para não danificar a galvanização.

27

## Relatórios.

Existem vários tipos de relatórios, contudo o adequado para a exportação para o Excel é o **"Todos los puntos, Informe Extendido"**.

Guardar todos os relatórios na pasta de respectiva referência, para além de as medições do mesmo dia devem estar todas juntas e identificadas com a data da medição.



28

## Anexo I: Tabela de cruzamento de dados.

		<b>Tabela de Ajuste de Parâmetros dos Ultra-sons</b>							<b>Data:</b> 15-02-2008			
		<b>Referência:</b> S816030V00							<b>Ajustado Por:</b>			
Não destrutivo										Destrutivo		
Ponto	Medição	Chapas	Resultado	Espessura	BW	Db	Atenuação	Min Bwm	MaxBw	Diâmetro	Resultado	
1											NOK	
											NOK	
											NOK	
											NOK	
2												NOK
												NOK
											NOK	
												NOK
												NOK
												NOK
3												NOK
												NOK
											NOK	
												NOK
												NOK
												NOK
4												NOK
												NOK
											NOK	
												NOK
												NOK
												NOK
5												NOK
												NOK
											NOK	
												NOK
												NOK
												NOK
6												NOK
												NOK




## Anexo J: Tabela de cálculo da frequência de controlo de estampação.

<b>GESTAMP PORTUGAL</b>		<b>Tabela de frequência de controlo de Estampação</b>	
		Peça	9463088380 - OP20
<b>Cadencia (go/peç/hora)</b>	1203		
<b>Unidade de carga</b>	600		
<b>Tipo de embalagem (contentor-0; bacs-1)</b>	0		
<b>Peças por golpe</b>	1		
<b>Peça S/R (não-0; sim-1)</b>	0		
<b>Peças amuradas (não-0; sim-1)</b>	1		
<b>Complexidade da peça/chapa</b>		<b>Ferramenta</b>	
Chapa (alto limite elástico) (não-0; sim-1).....	0	Sensor de passo o/avango (não-0: sim ou ferramenta manual-1).....	1
Embutido (não-0; sim-1).....	0	Guiamento .....	3
0 → Peça plana		0 → Sem guiamento	
1 → Embutido pequeno		1 → Guias até ao final da ferramenta	
2 → Embutido médio		2 → Banda guiada lateralmente	
3 → Embutido grande		3 → Ambos ou ferramenta manual	
Furos problemáticos (não-0; sim-1).....	0	Sensor de detecção de componentes/furos (não-0: sim ou não aplicável-1).....	0
Peça c/ corte inclinado (não-0; sim-1).....	0	Posicionamento para a peça (não-0; sim-1).....	0
Peça c/ componentes encastrados (não-0; sim-1).....	0	<b>Capacidade do processo</b>	
		<1,66 (não-0; sim-1).....	1
		<b>Peça com problemas potenciais</b> .....	0
<b>Deteção em operações posteriores</b>		<b>Frequência de controle calculada (peças/golpe)</b> 1 / 1200	
Presença/ Posição dos furos .....	0	<b>Tempo médio calculado</b> 60    min	
0 → Não Tem			
1 → Parcial			
2 → Total ou não aplicável			
Presença/ Posição dos componentes .....	0	<b>Frequência de controle real (peças/golpe)</b> 1 / 1045	
0 → Não Tem			
1 → Parcial			
2 → Total ou não aplicável			
Conformidade da geometria (não-0; sim-1).....	0	<b>Tempo médio real</b> 52    min	
<b>Observações:</b> .....			
		<b>Frequência de controlo alterada (peças/golpe)</b> 1 /	

Tabela de frequência de controlo de Estampação A\_25-02-2008

## Anexo K: Tabela de cálculo da frequência de controlo de soldadura.



**Frequência de controlo**  
**Peça 9463088380 -OPS20**

**SOLDADURA DE COMPONENTES POR RESISTÊNCIA**

Caudal (g/peça/hora)	1000		
Unidade de carga	20		
Tipo de embalagem (contenedor-Q; baco-1)	1		
Peças por golpe	1		
Peça S/R (não-Q: sim-1)	0		
Peças arrumadas (não-Q: sim-1)	0		

**PARÂMETROS GERAIS**

Modo de introdução de parâmetros	1
0 → Manual	
1 → Automático	
Soldadura manual (não-Q: sim-1)	0
Controlo dos parâmetros automático (não-Q: sim-1)	0
Ferramenta específica (não-Q: sim-1)	1
Estabelecida troca de electrodos/tocha (não-Q: sim-1)	1
Presença/Posição dos componentes	2
0 → Não Tem	
1 → Parcial	
2 → Total	
Conformidade da geometria (não-Q: sim-1)	0
Peça com problemas potenciais	2
0 → Geometria	
1 → Presença de componente	
2 → Resistência de soldadura	
3 → Não Tem	

**SOLDADURA POR PONTO S (não-Q: sim-1)**

Garantia de posição de ponto	2
0 → Não Tem	
1 → Robot	
2 → Pinça com guia	

**SOLDADURA MIGMA G (não-Q: sim-1)**

Deteção/Posição	2
0 → Controlo Unitário pelo operador	
1 → Poka Yoke para Componentes	
2 → Visão Artificial	
Proteção de componentes (projeções) (não-Q: sim-1)	1
Processo capaz (repetitivo)	2
0 → Posição    2 → Tamanho	
1 → Aspecto	

(não-Q: sim-1)	1	
Deteção/Posição/Presença	3	
0 → Laser		
1 → Detector mecânico		
2 → Visão Artificial		
3 → Não Aplicável		

PORCA S (não-Q: sim-1)	0	
Proteção de Componentes (não-Q: sim-1)	1	
Alimentação Automática (não-Q: sim-1)	1	
Garantia após soldadura (não-Q: sim-1)	1	
Soldadura de vários componentes na mesma operação (não-Q: sim-1)	1	
PARAFUSOS (não-Q: sim-1)	1	
Proteção de Componentes (não-Q: sim-1)	1	
Alimentação Automática (não-Q: sim-1)	0	
Garantia após soldadura (não-Q: sim-1)	1	
Soldadura de vários componentes na mesma operação (não-Q: sim-1)	0	
Electrodo inferior específico para a deteção de comprimento excessivo (não-Q: sim-1)	1	
ENTRETORSE (não-Q: sim-1)	0	
Proteção de Componentes (não-Q: sim-1)	1	
Alimentação Automática (não-Q: sim-1)	1	
Garantia após soldadura (não-Q: sim-1)	1	
Soldadura de vários componentes na mesma operação (não-Q: sim-1)	1	
Electrodo inferior específico para a deteção de comprimento excessivo (não-Q: sim-1)	1	
Deteção de componente correcto diâmetro (não-Q: sim-1)	1	

Frequência de controlo calculo arredondado (peças/golpe)	1	/ 1400
Tempo médio calculo arredondado	84	min
Frequência de controlo calculo real (peças/golpe)	1	/ 1395
Tempo médio calculo real	84	min
Observações: .....		
Frequência de controlo alterada manualmente (peças/golpe)	1	/

Tabela de frequência de controlo de soldadura A\_25-02-2008

## Anexo L: Custos e proveitos de uma substituição de 60%.

**Custos e proveitos de uma implementação da ordem sos 60%**

Referência	Projecto	Consumo Diário	Custo/Peça (€)	Consumo Mensal	Frequência de Control	Nº Peças não Destruidas/Mês	Nº Fabricações/mês	Tempo de Ensaio Destrutivo (min)	Tempo de Deslocação (min)	Custo/Operário (€)	Mão Utilizado	Proveitos Mensais (€)	Custo peças destruidas (implementação) (€)	Nºde peças destruidas	Custo Mensais (€)
271105V3	F91A	114	3,77617	2508	100	33	6	20	0,5	2,24475	Marreta	198,98	22,65702	22	132,65
272105V3		90	2,09796	1980	100	18	2	20	0,5	2,24475	Marreta	77,65	0	12	51,77
272105V3		94	3,93978	2088	100	33	7	20	0,5	2,24475	Marreta	206,61	31,51824	22	137,74
103801V2	X11E	360	1,25377	7920	300	31	5	7	0,5	0,82125	Marreta	63,99	3,76131	21	42,66
104114V0		82	2,74131	1804	200	20	5	7	0,5	0,82125	Marreta	72,72	16,44786	14	48,48
012489V0	X84	478	1,6285	10516	400	28	4	2	1	0,3285	Marreta	54,35	21,1705	19	36,24
059722V0	K84	316	1,48389	6952	300	23	3	1,5	1	0,27375	Marreta	40,26	13,35501	15	26,84
301159V0	E84	80	1,5276	1760	300	7	1	4	0,5	0,49275	Marreta	13,17	12,2208	4	8,78
301160V0		80	1,5276	1760	300	7	1	4	0,5	0,49275	Marreta	13,17	3,0552	4	8,78
613512V0		80	1,41388	1760	300	10	2	3	0,5	0,38325	Marreta	17,11	11,31104	6	11,41
613513V0		80	1,41384	1760	300	10	2	3	0,5	0,38325	Marreta	17,11	2,82768	6	11,41
372933V2	J77	100	2,52234	2200	200	13	2	3	0,5	0,38325	Marreta	36,61	25,2234	8	24,41
102096V4		48	3,73005	1056	200	12	3	17	1	1,971	Marreta	69,37	37,3005	8	46,25
102072V3		206	3,609	4532	200	38	8	4	0,5	0,49275	Marreta	154,21	36,09	25	102,81
102097V3		150	3,04324	3300	200	28	6	4	0,5	0,49275	Marreta	98,65	12,17296	19	65,77
102196V3		27	3,92986	594	200	11	3	7	0,5	0,82125	Marreta	51,23	15,71944	7	34,15
102197V3		27	2,51892	594	200	23	7	5	2	0,7665	Marreta	74,85	32,74596	15	49,90
105880V3		7	1,86053	154	100	4	1	17	1	1,971	Marreta	15,03	7,44212	3	10,02
102396V3		X85	90	3,92986	1980	200	12	2	7	0,5	0,82125	Marreta	56,73	23,57916	8
588926V0	B58	950	0,6486	20900	300	57	5	2	1	0,3285	Pressa	55,50	2,5944	38	37,00
588927V0		925	0,6486	20350	300	56	5	2	1	0,3285	Pressa	54,42	0	37	36,28
588928V0		950	0,93539	20900	300	57	5	2	1	0,3285	Pressa	71,79	5,61234	38	47,86
588929V0		940	0,93539	20680	300	56	5	2	1	0,3285	Pressa	71,23	10,28929	38	47,49
019630V0	B9	101	2,67266	2222	500	15	4	12	1	1,4235	Marreta	60,08	26,7266	10	40,05
816030V0		1043	3,71265	22946	300	103	19	20	1	2,2995	Marreta	618,60	100,2416	69	412,40
816032V0		1043	3,71263	22946	300	103	19	20	1	2,2995	Marreta	618,60	111,3789	69	412,40
864354V0		450	0,94983	9900	300	41	7	2	0,5	0,27375	Marreta	49,87	18,9726	27	33,25
864422V0	A08	450	0,9861	9900	300	41	7	2	0,5	0,27375	Marreta	51,40	25,6386	27	34,27
491682V0		75	0,50393	1650	750	4	1	3	0,5	0,38325	Marreta	3,83	4,53537	3	2,66
181369V0	M59	108	0,73659	2376	200	13	2	2	0,5	0,27375	Marreta	13,26	1,47318	9	8,84
181370V0		105	0,73659	2310	300	11	2	2	0,5	0,27375	Marreta	10,73	11,04885	7	7,15
547812V0		550	0,96632	12100	500	27	4	2	0,5	0,27375	Marreta	32,89	12,56216	18	21,92
477296V0	N68	400	0,98396	8800	300	36	6	2	0,5	0,27375	Marreta	44,77	5,90376	24	29,85
630978V0		400	0,71946	8800	300	36	6	2	0,5	0,27375	Marreta	35,36	6,47514	24	23,57
306667V0		420	1,06632	9240	400	29	5	2	0,5	0,27375	Marreta	38,67	14,92848	19	25,78
427881V0	A42	48	0,64946	1056	300	5	1	2	0,5	0,27375	Marreta	4,72	2,59784	3	3,15
427882V0		48	0,64946	1056	300	5	1	2	0,5	0,27375	Marreta	4,72	3,89676	3	3,15
427923V0		105	0,49197	2310	750	8	2	4	0,5	0,49275	Marreta	7,73	4,9197	5	5,15
428058V0		95	0,732	2090	300	10	2	2	0,5	0,27375	Marreta	10,24	7,32	7	6,83
429353V0		48	1,7537	1056	600	4	1	2	0,5	0,27375	Marreta	8,22	7,0148	3	5,48
810758V3		55	1,29953	1210	300	5	1	2	1	0,3285	Marreta	8,82	6,49765	4	5,88
810760V0		55	0,80193	1210	300	5	1	2	1	0,3285	Marreta	6,13	1,60386	4	4,08
Total												3213,41	705,554	722	2142,27



## Anexo M: Custos e proveitos de uma substituição de 80%.

Custos e proveitos de uma implementação da ordem sos 80%														
Referência	Projecto	Consumo Diário	Custo/Peca (€)	Consumo Mensal	Frequência de Control	Nº Peças não Destruidas/Mês	Nº Fabricações/mês	Tempo de Ensaio Destrutivo (min)	Tempo de Deslocação (min)	Custo/Operário (€)	Meio Utilizado	Proveitos Mensais (€)	Custo peças destruidas (implementação) (€)	Nºde peças destruidas
S271105V30	F91A	114	3,77617	2508	100	44	6	20	0,5	2,24475	Marreta	285,31	22,65702	11
S272105V30		90	2,09796	1980	100	24	2	20	0,5	2,24475	Marreta	103,63	0	6
S272105V30	X11E	94	3,93978	2068	100	45	7	20	0,5	2,24475	Marreta	275,48	31,51824	11
S103801V20		360	1,25377	7920	300	41	5	7	0,5	0,82125	Marreta	85,32	3,76131	10
S104114V00	X84	82	2,74131	1804	200	27	5	7	0,5	0,82125	Marreta	98,96	16,44786	7
S012489V00		478	1,6285	10516	400	37	4	2	1	0,3285	Marreta	72,47	21,1705	9
S059722V00	K84	316	1,48389	6952	300	31	3	1,5	1	0,27375	Marreta	53,68	13,35501	8
S301159V00	E84	80	1,5276	1760	300	9	1	4	0,5	0,49275	Marreta	17,56	12,2208	2
S301160V00		80	1,5276	1760	300	9	1	4	0,5	0,49275	Marreta	17,56	3,0552	2
S613512V00		80	1,41388	1760	300	13	2	3	0,5	0,38325	Marreta	22,81	11,31104	3
S613513V00		80	1,41384	1760	300	13	2	3	0,5	0,38325	Marreta	22,81	2,82768	3
S372933V20	J77	100	2,52234	2200	200	17	2	3	0,5	0,38325	Marreta	48,81	25,2234	4
S102096V40		48	3,73005	1056	200	16	3	17	1	1,971	Marreta	92,49	37,3005	4
S102072V30		208	3,609	4532	200	50	8	4	0,5	0,49275	Marreta	205,61	36,09	13
S102097V30		150	3,04324	3300	200	37	6	4	0,5	0,49275	Marreta	131,54	12,17296	9
S102196V30	X85	27	3,92986	594	200	14	3	7	0,5	0,82125	Marreta	68,30	15,71944	4
S102197V30		27	2,51892	594	200	30	7	5	2	0,7665	Marreta	99,80	32,74596	8
S105880V30		7	1,86053	154	100	5	1	17	1	1,971	Marreta	20,05	7,44212	1
S102396V30		90	3,92986	1980	200	16	2	7	0,5	0,82125	Marreta	75,64	23,57916	4
S588926V00	B58	950	0,6486	20900	300	76	5	2	1	0,3285	Prensa	74,00	2,5944	19
S588927V00		925	0,6486	20350	300	74	5	2	1	0,3285	Prensa	72,57	0	19
S588928V00		950	0,93539	20900	300	76	5	2	1	0,3285	Prensa	95,72	5,61234	19
S588929V00		940	0,93539	20680	300	75	5	2	1	0,3285	Prensa	94,98	10,28929	19
S019630V00	B9	101	2,67266	2222	500	20	4	12	1	1,4235	Marreta	80,10	26,7266	5
S816030V00		1043	3,71265	22946	300	137	19	20	1	2,2965	Marreta	824,80	100,2416	34
S816032V00		1043	3,71263	22946	300	137	19	20	1	2,2965	Marreta	824,80	111,3789	34
S864354V00		450	0,94863	9900	300	54	7	2	0,5	0,27375	Marreta	68,50	18,9726	14
S864422V00	A08	450	0,9861	9900	300	54	7	2	0,5	0,27375	Marreta	68,54	25,6386	14
S491682V00		75	0,50393	1650	750	6	1	3	0,5	0,38325	Marreta	5,11	4,53537	1
S181369V00	M59	108	0,73669	2376	200	18	2	2	0,5	0,27375	Marreta	17,68	1,47318	4
S181370V00		105	0,73669	2310	300	14	2	2	0,5	0,27375	Marreta	14,31	11,04885	4
S647812V00	N68	550	0,96632	12100	500	35	4	2	0,5	0,27375	Marreta	43,85	12,56216	9
S477298V00		400	0,98396	8800	300	47	6	2	0,5	0,27375	Marreta	59,70	5,90376	12
S630978V00		400	0,71946	8800	300	47	6	2	0,5	0,27375	Marreta	47,14	6,47514	12
S306667V00		420	1,06632	9240	400	38	5	2	0,5	0,27375	Marreta	51,57	14,92848	10
S427881V00	A42	48	0,64946	1056	300	7	1	2	0,5	0,27375	Marreta	6,29	2,59784	2
S427882V00		48	0,64946	1056	300	7	1	2	0,5	0,27375	Marreta	6,29	3,89676	2
S427923V00		105	0,49197	2310	750	10	2	4	0,5	0,49275	Marreta	10,30	4,9197	3
S428058V00		95	0,732	2090	300	14	2	2	0,5	0,27375	Marreta	13,65	7,32	3
S429353V00		48	1,7537	1056	600	5	1	2	0,5	0,27375	Marreta	10,96	7,0148	1
S810758V30		55	1,29963	1210	300	7	1	2	1	0,3285	Marreta	11,77	6,49765	2
S810760V00	Total	55	0,80193	1210	300	7	1	2	1	0,3285	Marreta	8,17	1,60386	2
												4284,54	705,554	361

## Anexo N: Custos e proveitos de uma substituição de 85%.

Custos e proveitos de uma implementação da ordem sos 85%																
Referência	Projecto	Consumo Diário	Custo/Peça (€)	Consumo Mensal	Frequência de Control	Nº Peças não Destruidas/mês	Nº Fabricações/mês	Tempo de Ensaio Destruti vo (min)	Tempo de Deslocação (min)	Custo/Operário (€)	Meio Utilizado	Proveitos Mensais (€)	Custo peças destruidas (implementação) (€)	Nºde peças destruidas	Custo Mensais (€)	
S271105V/30	F91A	114	3,77617	2508	100	47	6	20	0,5	2,24475	Marreta	281,89	22,65702	8	49,74	
S272105V/30		90	2,09796	1980	100	25	2	20	0,5	2,24475	Marreta	110,00	0	4	19,41	
S272105V/30		94	3,93978	2068	100	47	7	20	0,5	2,24475	Marreta	292,70	31,51824	8	51,65	
S103801V/20	X11E	360	1,25377	7920	300	44	5	7	0,5	0,82125	Marreta	90,66	3,76131	8	16,00	
S104114V/00		82	2,74131	1804	200	29	5	7	0,5	0,82125	Marreta	103,02	16,44786	5	18,18	
S012489V/00	X84	478	1,6285	10516	400	39	4	2	1	0,3285	Marreta	77,00	21,1705	7	13,59	
S059722V/00	K84	316	1,48389	6952	300	32	3	1,5	1	0,27375	Marreta	57,03	13,35501	6	10,06	
S301159V/00		80	1,5276	1760	300	9	1	4	0,5	0,49275	Marreta	18,66	12,2208	2	3,29	
S301160V/00	E84	80	1,5276	1760	300	9	1	4	0,5	0,49275	Marreta	18,66	3,0562	2	3,29	
S613512V/00		80	1,41388	1760	300	13	2	3	0,5	0,38325	Marreta	24,24	11,31104	2	4,28	
S613513V/00		80	1,41384	1760	300	13	2	3	0,5	0,38325	Marreta	24,24	2,82768	2	4,28	
S372933V/20	J77	100	2,52234	2200	200	18	2	3	0,5	0,38325	Marreta	51,86	25,2234	3	9,15	
S102096V/40		48	3,73005	1056	200	17	3	17	1	1,971	Marreta	98,27	37,3005	3	17,34	
S102072V/30		206	3,609	4532	200	53	8	4	0,5	0,49275	Marreta	218,46	36,09	9	38,55	
S102097V/30		150	3,04324	3300	200	40	6	4	0,5	0,49275	Marreta	139,76	12,17296	7	24,66	
S102196V/30		27	3,92986	594	200	15	3	7	0,5	0,82125	Marreta	72,57	15,71944	3	12,81	
S102197V/30		27	2,51892	594	200	32	7	5	2	0,7665	Marreta	106,04	32,74696	6	18,71	
S105880V/30		7	1,86053	154	100	6	1	17	1	1,971	Marreta	21,30	7,44212	1	3,76	
S102396V/30	X85	90	3,92986	1980	200	17	2	7	0,5	0,82125	Marreta	80,37	23,57918	3	14,18	
S588926V/00		950	0,6486	20900	300	80	5	2	1	0,3285	Pressa	78,62	2,5944	14	13,87	
S588927V/00		925	0,6486	20350	300	79	5	2	1	0,3285	Pressa	77,10	0	14	13,61	
S588928V/00		950	0,93539	20900	300	80	5	2	1	0,3285	Pressa	101,70	5,61234	14	17,96	
S588929V/00		940	0,93539	20680	300	80	5	2	1	0,3285	Pressa	100,91	10,28929	14	17,81	
S019630V/00	B58	101	2,67266	2222	500	21	4	12	1	1,4235	Marreta	85,11	26,7266	4	15,02	
S816030V/00		1043	3,71265	22946	300	146	19	20	1	2,2995	Marreta	876,35	100,2416	26	154,65	
S816032V/00		1043	3,71263	22946	300	146	19	20	1	2,2995	Marreta	876,35	111,3789	26	154,65	
S864354V/00		450	0,94883	9900	300	58	7	2	0,5	0,27375	Marreta	70,65	18,9726	10	12,47	
S864422V/00		450	0,9861	9900	300	58	7	2	0,5	0,27375	Marreta	72,82	25,6386	10	12,85	
S491682V/00	A08	75	0,50393	1650	750	6	1	3	0,5	0,38325	Marreta	5,43	4,53537	1	0,96	
S181369V/00		108	0,73659	2376	200	19	2	2	0,5	0,27375	Marreta	18,79	1,47318	3	3,32	
S181370V/00		105	0,73659	2310	300	15	2	2	0,5	0,27375	Marreta	15,20	11,04885	3	2,68	
S547812V/00	M59	550	0,96632	12100	500	38	4	2	0,5	0,27375	Marreta	46,59	12,56216	7	8,22	
S477298V/00		400	0,98396	8800	300	50	6	2	0,5	0,27375	Marreta	63,43	5,90378	9	11,19	
S630978V/00		400	0,71946	8800	300	50	6	2	0,5	0,27375	Marreta	50,09	6,47514	9	8,84	
S306667V/00		420	1,06632	9240	400	41	5	2	0,5	0,27375	Marreta	54,79	14,92848	7	9,67	
S427881V/00		48	0,64946	1056	300	7	1	2	0,5	0,27375	Marreta	6,69	2,59784	1	1,18	
S427882V/00	N68	48	0,64946	1056	300	7	1	2	0,5	0,27375	Marreta	6,69	3,89676	1	1,18	
S427923V/00		105	0,49197	2310	750	11	2	4	0,5	0,49275	Marreta	10,95	4,9197	2	1,93	
S428058V/00		95	0,732	2090	300	14	2	2	0,5	0,27375	Marreta	14,50	7,32	3	2,56	
S429353V/00		48	1,7537	1056	600	6	1	2	0,5	0,27375	Marreta	11,66	7,0148	1	2,06	
S810758V/30		A42	55	1,29953	1210	300	8	1	2	1	0,3285	Marreta	12,50	6,49765	1	2,21
S810780V/00			55	0,80193	1210	300	8	1	2	1	0,3285	Marreta	8,68	1,80386	1	1,53
													Total	4552,33	705,554	271

**Anexo O: Tabela da evolução das amortizações para os níveis de substituição de 80 e 85%.**

Mês	Substituição de 80%			Substituição de 85%		
	Custo	Proveitos	Total	Custo	Proveitos	Total
0	38000	0	-38000	38000	0	-38000
1	40142,27	3213,41	-36928,9	40142,27	3213,41	-36928,9
2	42284,54	6426,82	-35857,7	42284,54	6426,82	-35857,7
3	44426,81	9640,23	-34786,6	44426,81	9640,23	-34786,6
4	46569,08	12853,64	-33715,4	46569,08	12853,64	-33715,4
5	48711,35	16067,05	-32644,3	48711,35	16067,05	-32644,3
6	50853,62	19280,46	-31573,2	50853,62	19280,46	-31573,2
7	51924,76	23565	-28359,8	51656,97	23832,79	-27824,2
8	52995,9	27849,54	-25146,4	52460,32	28385,12	-24075,2
9	54067,04	32134,08	-21933	53263,67	32937,45	-20326,2
10	55138,18	36418,62	-18719,6	54067,02	37489,78	-16577,2
11	56209,32	40703,16	-15506,2	54870,37	42042,11	-12828,3
12	57280,46	44987,7	-12292,8	55673,72	46594,44	-9079,28
13	58351,6	49272,24	-9079,36	56477,07	51146,77	-5330,3
14	59422,74	53556,78	-5865,96	57280,42	55699,1	-1581,32
15	60493,88	57841,32	-2652,56	58083,77	60251,43	<b>2167,66</b>
16	61565,02	62125,86	<b>560,84</b>	58887,12	64803,76	5916,64
17	62636,16	66410,4	3774,24	59690,47	69356,09	9665,62
18	63707,3	70694,94	6987,64	60493,82	73908,42	13414,6
19	64778,44	74979,48	10201,04	61297,17	78460,75	17163,58
20	65849,58	79264,02	13414,44	62100,52	83013,08	20912,56
21	66920,72	83548,56	16627,84	62903,87	87565,41	24661,54
22	67991,86	87833,1	19841,24	63707,22	92117,74	28410,52
23	69063	92117,64	23054,64	64510,57	96670,07	32159,5
24	70134,14	96402,18	26268,04	65313,92	101222,4	35908,48
25	71205,28	100686,7	29481,44	66117,27	105774,7	39657,46
26	72276,42	104971,3	32694,84	66920,62	110327,1	43406,44
27	73347,56	109255,8	35908,24	67723,97	114879,4	47155,42
28	74418,7	113540,3	39121,64	68527,32	119431,7	50904,4
29	75489,84	117824,9	42335,04	69330,67	123984,1	54653,38
30	76560,98	122109,4	45548,44	70134,02	128536,4	58402,36
31	77632,12	126394	48761,84	70937,37	133088,7	62151,34
32	78703,26	130678,5	51975,24	71740,72	137641	65900,32
33	79774,4	134963	55188,64	72544,07	142193,4	69649,3
34	80845,54	139247,6	58402,04	73347,42	146745,7	73398,28
35	81916,68	143532,1	61615,44	74150,77	151298	77147,26

**Anexo P: Tabela da evolução da amortização do aparelho de ultra-sons para uma substituição de 85% dos ensaios destrutivos e com a contratação de uma pessoa por turno.**

Mês	Uma pessoa por turno		
	Custo	Proveitos	Receitas
0	37550	0	-37550
1	41792,27	3213,41	-38578,9
2	46034,54	6426,82	-39607,7
3	50276,81	9640,23	-40636,6
4	54519,08	12853,64	-41665,4
5	58761,35	16067,05	-42694,3
6	63003,62	19280,46	-43723,2
7	65906,97	23832,79	-42074,2
8	68810,32	28385,12	-40425,2
9	71713,67	32937,45	-38776,2
10	74617,02	37489,78	-37127,2
11	77520,37	42042,11	-35478,3
12	80423,72	46594,44	-33829,3
13	83327,07	51146,77	-32180,3
14	86230,42	55699,1	-30531,3
15	89133,77	60251,43	-28882,3
16	92037,12	64803,76	-27233,4
17	94940,47	69356,09	-25584,4
18	97843,82	73908,42	-23935,4
19	100747,2	78460,75	-22286,4
20	103650,5	83013,08	-20637,4
21	106553,9	87565,41	-18988,5
22	109457,2	92117,74	-17339,5
23	112360,6	96670,07	-15690,5
24	115263,9	101222,4	-14041,5
25	118167,3	105774,7	-12392,5
26	121070,6	110327,1	-10743,6
27	123974	114879,4	-9094,58
28	126877,3	119431,7	-7445,6
29	129780,7	123984,1	-5796,62
30	132684	128536,4	-4147,64
31	135587,4	133088,7	-2498,66
32	138490,7	137641	-849,68
33	141394,1	142193,4	<b>799,3</b>
34	144297,4	146745,7	2448,28
35	147200,8	151298	4097,26
36	150104,1	155850,4	5746,24
37	153007,5	160402,7	7395,22
38	155910,8	164955	9044,2
39	158814,2	169507,4	10693,18
40	161717,5	174059,7	12342,16
41	164620,9	178612	13991,14
42	167524,2	183164,3	15640,12



